

(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2007-123333

(P2007-123333A)

(43) 公開日 平成19年5月17日(2007.5.17)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H01L 21/027 (2006.01)</b>	H01L 21/30	2H095
<b>G03F 7/20 (2006.01)</b>	G03F 7/20	5F046
<b>G03F 1/08 (2006.01)</b>	H01L 21/30	515D
	G03F 1/08	521
		514C
		A

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 47 頁)

(21) 出願番号	特願2005-309799 (P2005-309799)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成17年10月25日 (2005.10.25)		キヤノン株式会社
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
		(74) 代理人	100110412
			弁理士 藤元 亮輔
		(72) 発明者	川島 美代子
			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
		Fターム(参考)	2H095 BA02 BB02 BB03
			5F046 AA25 BA03 CB05 CB13 CB23

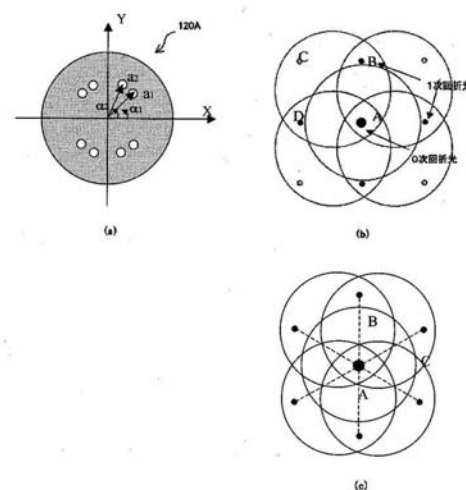
(54) 【発明の名称】 露光方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】混在パターンに対して解像性能を向上すると共に焦点深度を確保する照明条件を設定する露光方法を提供する。

【解決手段】行列状パターンと千鳥格子状パターンとが混在する混在パターンを有するマスクを軸上を除いた斜入射の有効光源で照明し、被露光体に投影する露光方法であって、前記有効光源は、前記投影光学系の前記瞳の中心からの距離が $a_i$ で等しく、列方向からの角度が $i$ 、 $-i$ 、 $+i$ 、 $2-i$ の方向に位置し、また、前記瞳の中心からの距離が $a_j$ で等しく、列方向からの角度が $j$ 、 $-j$ 、 $+j$ 、 $2-j$ の方向に位置する光を含み、前記コンタクトホールパターンからの回折光のうち3光束又は4光束を前記投影光学系の瞳内で干渉及び結像させることを特徴とする露光方法を提供する。

【選択図】図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

複数のコンタクトホールが行列状に配置された行列状パターンと、複数のコンタクトホールの 1 列の周期パターンが隣り合う行で互いに半ピッチずれている千鳥格子状パターンとが混在する混在パターンを有するマスクを、軸上を除いた斜入射の有効光源で照明し、投影光学系を介して被露光体に投影する露光方法であって、

前記行列状パターンのピッチが  $n_i$  個あり、 $i$  番目の前記コンタクトホール間の列方向のピッチを  $P_{x_i}$ 、行方向のピッチを  $P_{y_i}$ 、前記千鳥格子状パターンのピッチが  $n_j$  個あり、 $j$  番目の前記コンタクトホール間の列方向のピッチを  $P_{x_j}$ 、行方向のピッチを  $P_{y_j}$ 、前記投影光学系の開口数を  $NA$ 、前記照明光の波長を  $\lambda$  とすると次式が成立し、

10

$$P_{x_{oi}} / 2 = (P_{x_i} / 2) NA / \lambda, \quad 1 \leq i \leq n_i,$$

$$P_{y_{oi}} / 2 = (P_{y_i} / 2) NA / \lambda, \quad 1 \leq i \leq n_i,$$

$$P_{x_{oj}} / 2 = (P_{x_j} / 2) NA / \lambda, \quad 1 \leq j \leq n_j,$$

$$P_{y_{oj}} / 2 = (P_{y_j} / 2) NA / \lambda, \quad 1 \leq j \leq n_j,$$

$$\theta_i = \tan^{-1} (P_{x_{oi}} / P_{y_{oi}}), \quad 1 \leq i \leq n_i,$$

$$\theta_j = 2 \tan^{-1} (P_{x_{oj}} / (2 P_{y_{oj}})), \quad 1 \leq j \leq n_j,$$

$$a_i = 1 / (4 (P_{y_{oi}} / 2) / \sin(\theta_i)), \quad 1 \leq i \leq n_i,$$

$$a_j = 1 / (4 (P_{y_{oj}} / 2) / \sin(\theta_j)), \quad 1 \leq j \leq n_j,$$

前記有効光源は、前記投影光学系の前記瞳の中心からの距離が  $a_i$  で等しく、列方向からの角度が  $\theta_i$ 、 $-\theta_i$ 、 $+\theta_i$ 、 $2\theta_i$  の方向に位置し、また、前記瞳の中心からの距離が  $a_j$  で等しく、列方向からの角度が  $\theta_j$ 、 $-\theta_j$ 、 $+\theta_j$ 、 $2\theta_j$  の方向に位置する光を含み、

20

前記コンタクトホールパターンからの回折光のうち 3 光束又は 4 光束を前記投影光学系の瞳内で干渉及び結像させることを特徴とする露光方法。

## 【請求項 2】

複数のコンタクトホールが行列状に配置された行列状パターンと、複数のコンタクトホールの 1 列の周期パターンが隣り合う行で互いに半ピッチずれている千鳥格子状パターンとが混在する混在パターンを有するマスクを 4 重極照明の有効光源で照明し、投影光学系を介して被露光体に投影する露光方法であって、

前記有効光源は、前記投影光学系の前記瞳の中心からの距離が  $a$  で等しく、列方向からの角度が  $\theta$ 、 $-\theta$ 、 $+\theta$ 、 $2\theta$  の方向に位置し、前記行列状パターンの前記コンタクトホール間の列方向のピッチを  $P_{x_1}$ 、行方向のピッチを  $P_{y_1}$ 、前記千鳥格子状パターンの前記コンタクトホール間の列方向のピッチを  $P_{x_2}$ 、行方向のピッチを  $P_{y_2}$ 、前記投影光学系の開口数を  $NA$ 、前記照明光の波長を  $\lambda$  とすると次式が成立し、

30

$$P_{x_{o1}} / 2 = (P_{x_1} / 2) NA / \lambda,$$

$$P_{y_{o1}} / 2 = (P_{y_1} / 2) NA / \lambda,$$

$$P_{x_{o2}} / 2 = (P_{x_2} / 2) NA / \lambda,$$

$$P_{y_{o2}} / 2 = (P_{y_2} / 2) NA / \lambda,$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} (P_{x_{o1}} / P_{y_{o1}}),$$

$$\theta_2 = 2 \tan^{-1} (P_{x_{o2}} / (2 P_{y_{o2}})),$$

40

$$a_1 = 1 / (4 (P_{y_{o1}} / 2) / \sin(\theta_1)),$$

$$a_2 = 1 / (4 (P_{y_{o2}} / 2) / \sin(\theta_2)),$$

は  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  を含み、 $a$  は  $a_1$ 、 $a_2$  を含み、

前記コンタクトホールパターンからの回折光のうち 3 光束又は 4 光束を前記投影光学系の瞳内で干渉及び結像させることを特徴とする露光方法。

## 【請求項 3】

複数のコンタクトホールが行列状に配置された行列状パターンと、複数のコンタクトホールの 1 列の周期パターンが隣り合う行で互いに半ピッチずれている千鳥格子状パターンとが混在する混在パターンを有するマスクを 8 重極照明の有効光源で照明し、投影光学系

50

を介して被露光体に投影する露光方法であって、

前記有効光源は、前記投影光学系の前記瞳の中心からの距離が  $a_1$  で等しく、列方向からの角度  $\theta_1$  が  $\theta_1$ 、 $-\theta_1$ 、 $+\theta_1$ 、 $2\theta_1$ 、 $-2\theta_1$  の方向に位置し、前記瞳の中心からの距離が  $a_2$  で等しく、列方向からの角度  $\theta_2$  が  $\theta_2$ 、 $-\theta_2$ 、 $+\theta_2$ 、 $2\theta_2$ 、 $-2\theta_2$  の方向に位置し、前記行列状パターン前記コンタクトホール間の列方向のピッチを  $P_{x1}$ 、行方向のピッチを  $P_{y1}$ 、前記千鳥格子状パターン前記コンタクトホール間の列方向のピッチを  $P_{x2}$ 、行方向のピッチを  $P_{y2}$ 、前記投影光学系の開口数を  $NA$ 、前記照明光の波長を  $\lambda$  とすると次式が成立し、

$$P_{xo1} / 2 = (P_{x1} / 2) NA / \lambda,$$

$$P_{yo1} / 2 = (P_{y1} / 2) NA / \lambda,$$

$$P_{xo2} / 2 = (P_{x2} / 2) NA / \lambda,$$

$$P_{yo2} / 2 = (P_{y2} / 2) NA / \lambda,$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} (P_{xo1} / P_{yo1}),$$

$$\theta_2 = 2 \tan^{-1} (P_{xo2} / (2 P_{yo2})),$$

$$a_1 = 1 / (4 (P_{yo1} / 2) / \lambda) / \sin(\theta_1),$$

$$a_2 = 1 / (4 (P_{yo2} / 2) / \lambda) / \sin(\theta_2),$$

10

前記コンタクトホールパターンからの回折光のうち3光束又は4光束を前記投影光学系の瞳内で干渉及び結像させることを特徴とする露光方法。

【請求項4】

20

前記マスクはハーフトーン位相シフトマスクであり、前記照明はラジアル偏光照明であることを特徴とする請求項1乃至3のうちいずれか一項記載の露光方法。

【請求項5】

前記マスクはバイナリマスクであり、前記照明は無偏光照明であることを特徴とする請求項1乃至3のうちいずれか一項記載の露光方法。

【請求項6】

$a_i$ 、 $\theta_i$ 、 $P_{xo_i}$ 、 $P_{xo_i}$ 、 $P_{xo_j}$ 、 $P_{xo_j}$  が、

$$1 / (4 (P_{yo_i} / 2) / \lambda) / \sin(\theta_i) < 1, 1 \leq \theta_i \leq \theta_{ni} \text{ と、}$$

$$1 / (2 (P_{yo_i} / 2) / \lambda) / \sin(\theta_i + \theta_i) / \cos(\theta_i) > 1,$$

$$\theta_i = \tan^{-1} (2 P_{xo_i} / P_{yo_i}) - \theta_i, 1 \leq \theta_i \leq \theta_{ni} \text{ と、}$$

$$1 / (2 (P_{yo_j} / 2) / \lambda) / (\sin(\tan^{-1} (1 / (P_{yo_j} / e_j))) > 1$$

30

$e_j = 1 / (2 (P_{xo_j} / 2) / \lambda) - a_i \cos(\theta_i)$ 、 $1 \leq \theta_j \leq \theta_{nj}$  の3つの不等式を成立させることを特徴とする請求項1記載の露光方法。

【請求項7】

$a_j$ 、 $\theta_j$ 、 $P_{xo_i}$ 、 $P_{xo_i}$ 、 $P_{xo_j}$ 、 $P_{xo_j}$  が、

$$1 / (4 (P_{yo_j} / 2) / \lambda) / \sin(\theta_j) < 1, 1 \leq \theta_j \leq \theta_{nj} \text{ と、}$$

$$1 / (2 (P_{yo_j} / 2) / \lambda) / (\sin(\tan^{-1} (1 / (2 (P_{yo_j} / 2) / \lambda) / a_j)) > 1, 1 \leq \theta_j \leq \theta_{nj} \text{ と、}$$

$$1 / (4 (P_{yo_i} / 2) / \lambda) / (\sin(\tan^{-1} (1 / (4 (P_{yo_i} / 2) / \lambda) / c_i))) > 1,$$

40

$$c_i = 1 / (2 (P_{xo_i} / 2) / \lambda) - a_j \cos(\theta_j), 1 \leq \theta_i \leq \theta_{ni}$$

の3つの不等式を成立させることを特徴とする請求項1記載の露光方法。

【請求項8】

$a_1$ 、 $\theta_1$ 、 $P_{xo_1}$ 、 $P_{xo_1}$ 、 $P_{xo_2}$ 、 $P_{xo_2}$  が、

$$1 / (4 (P_{yo_1} / 2) / \lambda) / \sin(\theta_1) < 1 \text{ と、}$$

$$1 / (2 (P_{yo_1} / 2) / \lambda) / \sin(\theta_1 + \theta_1) / \cos(\theta_1) > 1,$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} (2 P_{xo_1} / P_{yo_1}) - \theta_1 \text{ と、}$$

$$1 / (2 (P_{yo_2} / 2) / \lambda) / (\sin(\tan^{-1} (1 / (2 (P_{yo_2} / 2) / \lambda) / e_2))) > 1,$$

50

$$e_2 = 1 / (2 (P x o_2 / 2)) - a_1 \cos(\theta_1)$$

の3つの不等式を成立させることを特徴とする請求項2又は3記載の露光方法。

【請求項9】

$a_2$ 、 $\theta_2$ 、 $P x o_1$ 、 $P x o_1$ 、 $P x o_2$ 、 $P x o_2$  が、  
 $1 / (4 (P y o_2 / 2)) / \sin(\theta_2) < 1$  と、  
 $1 / (2 (P y o_2 / 2)) / (\sin(\tan^{-1}(1 / (2 (P y o_2 / 2))) / a_2) > 1$  と  
 $1 / (4 (P y o_1 / 2)) / (\sin(\tan^{-1}(1 / (4 (P y o_1 / 2))) / c_1)) > 1$ 、

$$c_1 = 1 / (2 (P x o_1 / 2)) - a_2 \cos(\theta_2)$$

10

の3つの不等式を成立させることを特徴とする請求項2又は3記載の露光方法。

【請求項10】

前記行列状パターンはX方向のピッチ  $P x$  とY方向のピッチ  $P y$  を有し、前記千鳥格子状パターンはピッチ  $P x b$ 、 $P y b$  を有し、次式を満足することを特徴とする請求項1乃至3のうちいずれか一項記載の露光方法。

$$P x / P y = P x b / P y b = d$$

$$C = (-1 + (1 + d^2)) / d$$

$$P y b / P y = P x b / P x = c (4 + d^2) / 2 d / (1 + c^2)$$

【請求項11】

前記コンタクトホールパターンは、所望のパターンと、当該所望のパターンよりも寸法の小さな補助パターンを含み、

前記露光方法は、前記所望のパターンが解像され、かつ、前記補助パターンの解像が抑制することを特徴とする請求項1乃至10のうちいずれか一項記載の露光方法。

【請求項12】

請求項1乃至11のうちいずれか一項記載の露光方法を行うことができる露光モードを有することを特徴とする露光装置。

【請求項13】

請求項12記載の露光装置を用いて被露光体を露光するステップと、

前記露光された前記被露光体を現像するステップとを有するデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般には、露光に関し、特に、半導体チップ、表示素子、検出素子、撮像素子といった各種デバイス、マイクロメカニクスで用いる微細コンタクトホールパターンの製造に用いられる露光方法に関する。ここで、マイクロメカニクスは半導体集積回路製造技術を微細構造体の製作に応用し、高度な機能を持ったミクロン単位の機械システムやそれを作る技術をいう。

【背景技術】

【0002】

フォトリソグラフィ技術を用いて、マスク（又はレチクル）パターンを投影光学系を介してウェハに投影してパターンを転写する投影露光装置は従来から使用されている。マスクパターンにはコンタクトホールを含むものがある。近年のデバイスの微細化の要求に伴い、投影露光装置も微細なコンタクトホールを安定して解像する需要が益々高まっている。高解像度でパターンを転写するためには、パターンの種類に応じて最適な露光条件（マスクの種類、照明条件など）を選択する必要がある。また、結像性能の安定化のためには焦点深度を大きく確保する必要があり、照明条件は焦点深度にも影響を与える。

【0003】

コンタクトホールパターンには、近接及び周期的な（即ち、ホール径と同レベルの間隔で並べた）コンタクトホール列や近接せずに孤立した孤立コンタクトホールその他の孤立パターンなど幾つかの種類がある。また、コンタクトホール列は、正形状のホールを行

50

列状（又は碁盤の目状）のパターン形状と、各列が互い違いにずれている千鳥格子状のパターン形状が知られている。実際の回路パターンは、行列状パターンと千鳥格子状パターンが混在しており（以下、かかるパターンを単に「混在パターン」という。）、行列状パターンや混在パターンに対しては照明条件が従来提案されている（例えば、混在パターンには輪帯照明など）。また、長方形形状のコンタクトホールも知られている（例えば、非特許文献 1 を参照のこと）。

#### 【 0 0 0 4 】

マスクの種類としてはバイナリマスク、位相シフトマスク、ハーフトーン位相シフトマスク（Attenuated Phase Shift Mask、「ハーフトーンマスク」とも呼ばれる。）が知られている。また、照明条件は偏光条件も含み、2 光束干渉には接線方向の（タンジェンシャル）偏光が適しており、4 光束干渉には動径方向の（ラジアル）偏光が適していることは知られている。偏光制御は、液浸露光装置など、今後高 NA が更に進むにつれて重要となる。

10

#### 【 0 0 0 5 】

その他の従来技術としては特許文献 1 乃至 5 がある。

【特許文献 1】特開 2 0 0 0 - 0 4 0 6 5 6 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 3 - 2 0 3 8 5 0 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 4 - 2 7 2 2 2 8 号公報

【特許文献 4】特開 2 0 0 3 - 3 1 8 1 0 0 号公報

【特許文献 5】特開 2 0 0 3 - 2 3 3 1 6 5 号公報

20

【非特許文献 1】Hochul Kim et al., "Layser Specific Illumination Optimization by Monte Carlo Method," Optical Microlithography XVI, Anthony Yen, Editor, Proceedings of SPIE, Vol. 5040 (2003), pp. 244-250.

#### 【 発 明 の 開 示 】

#### 【 発 明 が 解 決 し よ う と す る 課 題 】

#### 【 0 0 0 6 】

投影露光装置の解像度 R は、光源の波長 と投影光学系の開口数（NA）を用いて以下のレーリーの式で与えられる。

#### 【 0 0 0 7 】

#### 【 数 1 】

30

$$R = k_1 (\lambda / NA)$$

#### 【 0 0 0 8 】

ここで、k<sub>1</sub> は現像プロセスなどによって定まる定数であり、通常露光の場合には k<sub>1</sub> は約 0.5 ~ 0.7 である。近年のデバイスの高集積化に対応して、転写されるパターンの微細化、即ち、高解像度化が益々要求されている。高解像力を得るには、上式から開口数 NA を大きくすること、及び、波長 を小さくすることが有効であるが、これらの改善は現段階では限界に達しており、通常露光の場合にウェハに 0.1 μm 以下のコンタクトホールパターンを形成することは困難である。

40

#### 【 0 0 0 9 】

特に、格子状パターンと千鳥格子状パターンの混在するコンタクトホールの形成は難しく、深度があまり得られない。また、千鳥格子状パターンに最適な露光条件の解析は、十分に進んでいないのが現状である。そして、実際に多用される混在パターンに対して従来の輪帯照明よりも解像性能を向上すると共に焦点深度を確保する必要がある。

#### 【 0 0 1 0 】

本発明は、混在パターンに対して解像性能を向上すると共に焦点深度を確保する照明条件を設定する露光方法に関する。

#### 【 課 題 を 解 決 す る た め の 手 段 】

#### 【 0 0 1 1 】

50

本発明の一側面としての露光方法は、複数のコンタクトホールが行列状に配置された行列状パターンと、複数のコンタクトホールの１列の周期パターンが隣り合う行で互いに半ピッチずれている千鳥格子状パターンとが混在する混在パターンを有するマスクを、軸上を除いた斜入射の有効光源で照明し、投影光学系を介して被露光体に投影する露光方法であって、前記行列状パターンのピッチが  $n_i$  個あり、 $i$  番目の前記コンタクトホール間の列方向のピッチを  $P_{x_i}$ 、行方向のピッチを  $P_{y_i}$ 、前記千鳥格子状パターンのピッチが  $n_j$  個あり、 $j$  番目の前記コンタクトホール間の列方向のピッチを  $P_{x_j}$ 、行方向のピッチを  $P_{y_j}$ 、前記投影光学系の開口数を  $NA$ 、前記照明光の波長を  $\lambda$  とすると次式が成立し、 $P_{x_{o_i}} / 2 = (P_{x_i} / 2) NA / \lambda$ 、 $1 \leq i \leq n_i$ 、 $P_{y_{o_i}} / 2 = (P_{y_i} / 2) NA / \lambda$ 、 $1 \leq i \leq n_i$ 、 $P_{x_{o_j}} / 2 = (P_{x_j} / 2) NA / \lambda$ 、 $1 \leq j \leq n_j$ 、 $P_{y_{o_j}} / 2 = (P_{y_j} / 2) NA / \lambda$ 、 $1 \leq j \leq n_j$ 、 $\theta_i = \tan^{-1} (P_{x_{o_i}} / P_{y_{o_i}})$ 、 $1 \leq i \leq n_i$ 、 $\theta_j = 2 \tan^{-1} (P_{x_{o_j}} / (2 P_{y_{o_j}}))$ 、 $1 \leq j \leq n_j$ 、 $a_i = 1 / (4 (P_{y_{o_i}} / 2)) / \sin(\theta_i)$ 、 $1 \leq i \leq n_i$ 、 $a_j = 1 / (4 (P_{y_{o_j}} / 2)) / \sin(\theta_j)$ 、 $1 \leq j \leq n_j$ 、前記有効光源は、前記投影光学系の前記瞳の中心からの距離が  $a_i$  で等しく、列方向からの角度が  $\theta_i$ 、 $-\theta_i$ 、 $+\theta_i$ 、 $2 - \theta_i$  の方向に位置し、また、前記瞳の中心からの距離が  $a_j$  で等しく、列方向からの角度が  $\theta_j$ 、 $-\theta_j$ 、 $+\theta_j$ 、 $2 - \theta_j$  の方向に位置する光を含み、前記コンタクトホールパターンからの回折光のうち３光束又は４光束を前記投影光学系の瞳内で干渉及び結像させることを特徴とする。

#### 【００１２】

本発明の別の側面としての露光方法は、複数のコンタクトホールが行列状に配置された行列状パターンと、複数のコンタクトホールの１列の周期パターンが隣り合う行で互いに半ピッチずれている千鳥格子状パターンとが混在する混在パターンを有するマスクを４重極照明の有効光源で照明し、投影光学系を介して被露光体に投影する露光方法であって、前記有効光源は、前記投影光学系の前記瞳の中心からの距離が  $a$  で等しく、列方向からの角度が  $\theta$ 、 $-\theta$ 、 $+\theta$ 、 $2 - \theta$  の方向に位置し、前記行列状パターンの前記コンタクトホール間の列方向のピッチを  $P_{x_1}$ 、行方向のピッチを  $P_{y_1}$ 、前記千鳥格子状パターンの前記コンタクトホール間の列方向のピッチを  $P_{x_2}$ 、行方向のピッチを  $P_{y_2}$ 、前記投影光学系の開口数を  $NA$ 、前記照明光の波長を  $\lambda$  とすると次式が成立し、 $P_{x_{o_1}} / 2 = (P_{x_1} / 2) NA / \lambda$ 、 $P_{y_{o_1}} / 2 = (P_{y_1} / 2) NA / \lambda$ 、 $P_{x_{o_2}} / 2 = (P_{x_2} / 2) NA / \lambda$ 、 $P_{y_{o_2}} / 2 = (P_{y_2} / 2) NA / \lambda$ 、 $\theta_1 = \tan^{-1} (P_{x_{o_1}} / P_{y_{o_1}})$ 、 $\theta_2 = 2 \tan^{-1} (P_{x_{o_2}} / (2 P_{y_{o_2}}))$ 、 $a_1 = 1 / (4 (P_{y_{o_1}} / 2)) / \sin(\theta_1)$ 、 $a_2 = 1 / (4 (P_{y_{o_2}} / 2)) / \sin(\theta_2)$ 、 $\theta$  は  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  を含み、 $a$  は  $a_1$ 、 $a_2$  を含み、前記コンタクトホールパターンからの回折光のうち３光束又は４光束を前記投影光学系の瞳内で干渉及び結像させることを特徴とする。

#### 【００１３】

本発明の更に別の側面としての露光方法は、複数のコンタクトホールが行列状に配置された行列状パターンと、複数のコンタクトホールの１列の周期パターンが隣り合う行で互いに半ピッチずれている千鳥格子状パターンとが混在する混在パターンを有するマスクを８重極照明の有効光源で照明し、投影光学系を介して被露光体に投影する露光方法であって、前記有効光源は、前記投影光学系の前記瞳の中心からの距離が  $a_1$  で等しく、列方向からの角度  $\theta_1$  が  $\theta_1$ 、 $-\theta_1$ 、 $+\theta_1$ 、 $2 - \theta_1$  の方向に位置し、前記瞳の中心からの距離が  $a_2$  で等しく、列方向からの角度  $\theta_2$  が  $\theta_2$ 、 $-\theta_2$ 、 $+\theta_2$ 、 $2 - \theta_2$  の方向に位置し、前記行列状パターンの前記コンタクトホール間の列方向のピッチを  $P_{x_1}$ 、行方向のピッチを  $P_{y_1}$ 、前記千鳥格子状パターンの前記コンタクトホール間の列方向のピッチを  $P_{x_2}$ 、行方向のピッチを  $P_{y_2}$ 、前記投影光学系の開口数を  $NA$ 、前記照明光の波長を  $\lambda$  とすると次式が成立し、 $P_{x_{o_1}} / 2 = (P_{x_1} / 2) NA / \lambda$ 、 $P_{y_{o_1}} / 2 = (P_{y_1} / 2) NA / \lambda$ 、 $P_{x_{o_2}} / 2 = (P_{x_2} / 2) NA / \lambda$ 、 $P_{y_{o_2}} / 2 = (P_{y_2} / 2) NA / \lambda$ 、 $\theta_1 = \tan^{-1} (P_{x_{o_1}} / P_{y_{o_1}})$ 、 $\theta_2 = 2$

$\tan^{-1} (P_{x02} / (2 P_{y02}))$ 、 $a_1 = 1 / (4 (P_{y01} / 2)) / \sin(\theta_1)$ 、 $a_2 = 1 / (4 (P_{y02} / 2)) / \sin(\theta_2)$ 、

前記コンタクトホールパターンからの回折光のうち3光束又は4光束を前記投影光学系の瞳内で干渉及び結像させることを特徴とする。

#### 【0014】

上述の露光方法を行うことができる露光モードを有することを特徴とする露光装置や、かかる露光装置を用いて被露光体を露光するステップを有するデバイス製造方法も本発明の別の側面を構成する。デバイス製造方法の請求項は、中間及び最終結果物であるデバイス自体にもその効力が及ぶ。また、かかるデバイスは、LSIやVLSIなどの半導体チップ、CCD、LCD、磁気センサ、薄膜磁気ヘッドなどを含む。

10

#### 【0015】

本発明の更なる目的又はその他の特徴は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施例等によって明らかにされるであろう。

#### 【発明の効果】

#### 【0016】

本発明によれば、混在パターンに対して解像性能を向上すると共に焦点深度を確保する照明条件を設定する露光方法を提供することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0017】

以下、図1を参照して、本発明の例示的な露光装置100について説明する。ここで、図1は、露光装置100の概略ブロック図である。図1に示すように、露光装置100は、照明装置110と、マスク又はレチクル130と、投影光学系140と、主制御ユニット150と、ウェハ170と、媒質としての液体180とを有する。

20

#### 【0018】

このように、露光装置100は、投影光学系140のウェハ170側にある最終面が部分的に又は全体的に液体180に浸漬し、液体180を介してマスクMSに形成されたパターンをウェハWに露光する液浸型の露光装置である。本実施形態の露光装置100は、ステップアンドスキャン方式の投影露光装置であるが、本発明はステップアンドリピート方式その他の露光方式を適用することができる。

#### 【0019】

照明装置100は転写用の回路パターンが形成されたマスク130を照明し、光源部と照明光学系とを有する。

30

#### 【0020】

光源部は、光源としてのレーザー112と、ビーム整形系114とを含む。レーザー112は、波長約193nmのArFエキシマレーザー、波長約248nmのKrFエキシマレーザー、波長約157nmのF<sub>2</sub>エキシマレーザーなどのパルスレーザーからの光を使用することができる。レーザーの種類、個数は限定されず、光源部の種類も限定されない。また、使用可能な光源はレーザー112に限定されるものではなく、一又は複数の水銀ランプやキセノンランプなどのランプも使用可能である。

#### 【0021】

ビーム整形系114は、例えば、複数のシリンドリカルレンズを備えるビームエクスパンダ等を使用することができる。ビーム整形系114は、レーザー112からの平行光の断面形状の寸法の縦横比率を所望の値に変換することによりビーム形状を所望のものに成形する。ビーム成形系114は、後述するオプティカルインテグレーター118を照明するのに必要な大きさと発散角を持つ光束を形成する。

40

#### 【0022】

照明光学系は、マスク130を照明する光学系である。照明光学系は、集光光学系116と、偏光制御手段117と、オプティカルインテグレーター118と、開口絞り120と、集光レンズ122と、折り曲げミラー124と、マスキングブレード126と、結像レンズ128とを含む。照明光学系は、後述する6重極照明の他、従来の照明、輪帯照明

50

、四重極照明など様々な照明モードを実現することができる。

【0023】

集光光学系116は、複数の光学素子から構成され、オプティカルインテグレーター118に所望の形状で効率よく導入する。例えば、集光光学系116はズームレンズシステムを含み、オプティカルインテグレーター118への入射ビームの形および角度の分配をコントロールする。

【0024】

集光光学系116は、マスク130への照明光の露光量を照明毎に変更可能な露光量調整部を含む。露光量調整部は、主制御ユニット150によって制御される。露光量モニタを、例えばオプティカルインテグレーター118とレチクル130の間やその他の場所に置き露光量を計測しその結果をフィードバックすることもできる。

【0025】

偏光制御手段117は、例えば、偏光素子を含み、投影光学系140の瞳142とほぼ共役な位置に配置される。偏光制御手段117は、後述するように、瞳142に形成される有効光源の所定の領域の偏光状態を制御（変換を含む）する。複数種類の偏光素子からなる偏光制御手段117が図示しないアクチュエータによって回転可能なターゲット上に設けられて主制御ユニット150がかかるアクチュエータの駆動を制御してもよい。

【0026】

オプティカルインテグレーター118はマスク130に照明される照明光を均一化し、本実施形態では、入射光の角度分布を位置分布に変換して出射するハエの目レンズとして構成される。ハエの目レンズは、その入射面と出射面とがフーリエ変換の関係に維持され、ロッドレンズ（即ち、微小レンズ素子）を多数組み合わせることによって構成されている。但し、本発明が使用可能なオプティカルインテグレーター118はハエの目レンズに限定されず、光学ロッド、回折格子、各組が直交するように配置された複数の組のシリンドリカルレンズアレイ板などを含む。

【0027】

オプティカルインテグレーター118の出射面の直後には、形状及び径が固定された開口絞り120が設けられている。開口絞り120は、投影光学系140の瞳142に形成される有効光源とほぼ共役な位置に配置され、開口絞りの120の開口形状は投影光学系140の瞳面142の有効光源形状に相当する。本実施例では、後述するように、有効光源形状は4重極または8重極が好ましい。

【0028】

開口絞り120は、照明条件に応じて絞り交換機構（アクチュエータ）121によって、後述する種々の開口絞りが光路中に位置するように切り替え可能となっている。アクチュエータ121の駆動は、主制御ユニット150によって制御される駆動制御ユニット151によって制御される。なお、開口絞り120は、偏光制御手段と一体に構成されてもよい。

【0029】

図2(a)は、4重極照明用絞りとして構成された開口絞り150Aの概略平面図である。開口絞り150Aは、 $\phi = 0.2$ 以下の、 $\phi$ 、 $\phi + 0.2$ 、 $\phi + 0.4$ 、 $\phi + 0.6$ に配置された4つの円形開口部を有する。開口絞り150Aは、4つの円からなる透過率1の光透過部（白色部分）と、透過率0の遮光部（灰色部分）とを有する。図3は、4重極照明用絞りとして構成された開口絞り150Bの概略平面図である。このように、4重極照明は円弧状でもよく、形状は限定されないが、4つの光源位置の中心に対して対称な形状、又は、X軸及びY軸に対して対称な形状が好ましい。

【0030】

集光レンズ122はオプティカルインテグレーター118の射出面近傍の2次光源から射出し、開口絞り120を透過した複数の光束を集光し、ミラー124で反射させて被照斜面としてのマスキングブレード126面を均一にケラー照明によって照明する。

【0031】

10

20

30

40

50



マスクングブレード 126 は複数の可動遮光板より構成され、投影光学系 140 の有効面積に対応するほぼ矩形の任意の開口形状を有している。マスクングブレード 126 の開口部を透過した光束をマスク 130 の照明光として使用する。マスクングブレード 126 は開口幅を自動可変な絞りであり、転写領域を変更できる。また、露光装置 100 は、スキャン方向の転写領域を変更可能にする、上述のマスクングブレードと類似した構造のスキャンブレードを更に有してもよい。スキャンブレードも開口幅が自動可変できる絞りであり、マスク 12 面と光学的にほぼ共役な位置に設けられる。露光装置 100 は、これら二つの可変ブレードを用いることによって露光を行うショットの寸法に合わせて転写領域の寸法を設定することができる。

#### 【0032】

結像レンズ 128 は、マスクングブレード 126 の開口形状をレチクル 130 面上に照射して転写し、レチクル 130 面上のパターンを図示しないウェハチャックに載置したウェハ 170 面上に縮小投影する。

#### 【0033】

マスク 130 は、その上に転写されるべきパターンを形成され、マスクステージ 132 に支持及び駆動される。図 5 (a) にマスクパターン  $MP_{20}$  の例を示す。ここで、図 5 (a) はマスクパターン  $MP_{20}$  の一例を示す平面図である。マスクパターン  $MP_{20}$  の基本構成については後述するが、マスクパターン  $MP_{20}$  は、行列状パターン  $MP_{21}$  と千鳥格子状  $MP_{22}$  とが混在する混在パターンである。マスク 130 から発せられた回折光は投影光学系 140 を通りウェハ 170 上に投影される。ウェハ 170 は、被露光体でありレジスト 172 が基板 174 上に塗布されている。マスク 130 とウェハ 170 とは光学的に共役の関係に配置される。露光装置 100 はステップアンドスキャン方式の露光装置（即ち、スキャナー）であるため、マスク 130 とウェハ 170 を走査することによりマスクパターン  $MP$  をウェハ 170 上に転写する。なお、ステップアンドリピート方式の露光装置（即ち、「ステッパー」）であれば、マスク 130 とウェハ 170 とを静止させた状態で露光を行う。

#### 【0034】

マスクステージ 132 は、マスク 130 を支持して図示しない移動機構に接続されている。マスクステージ 132 及び投影光学系 140 は、例えば、床等に載置されたベースフレームにダンパ等を介して支持されるステージ鏡筒定盤上に設けられる。マスクステージ 132 は、当業界周知のいかなる構成をも適用できる。図示しない移動機構はリニアモータなどで構成され、XY 方向にマスクステージ 132 を駆動することでマスク 130 を移動することができる。露光装置 100 は、マスク 200 とウェハ 170 を主制御ユニット 150 によって同期した状態で走査する。

#### 【0035】

投影光学系 140 は、マスクパターン  $MP$  を経た回折光をウェハ 170 上に結像する機能を有する。投影光学系 300 は、複数のレンズ素子のみからなるダイブトリック光学系、複数のレンズ素子と少なくとも一枚の凹面鏡とを有するカタディオプトリック光学系等を使用することができる。色収差の補正が必要な場合には、互いに分散値（アッベ値）の異なるガラス材からなる複数のレンズ素子を使用したり、回折光学素子をレンズ素子と逆方向の分散が生じるように構成したりする。そうでなければ、色収差の補償は、レーザーのスペクトルの幅を狭くすることで実現する。最近、狭帯域 MOPA レーザーは主な流れのうちの 1 つである。

#### 【0036】

主制御ユニット 150 は、各部の駆動制御を行うが、特に、モニタ及び入力装置 152 の入力装置から入力される情報、照明装置 100 からの情報、図示しないメモリに格納されたプログラムに基づいて照明制御を行う。より詳細には、主制御ユニット 150 は、後述するように、投影光学系 140 の瞳 142 に形成される有効光源の形状及び偏光状態の制御を行う。主制御ユニット 150 による制御情報やその他の情報はモニタ及び入力装置 152 のモニタに表示される

10

20

30

40

50

ウェハ 170 は、別の実施形態では液晶基板その他の被露光体に置換される。ウェハ 170 ではフォトリソ 172 が基板 174 上に塗布されている。

【0037】

ウェハ 170 はウェハステージ 176 に支持される。ステージ 176 は、当業界で周知のいかなる構成をも適用することができるので、ここでは詳しい構造及び動作の説明は省略する。例えば、ステージ 176 はリニアモータを利用して X Y 方向にウェハ 170 を移動する。マスク 130 とウェハ 170 は、例えば、同期して走査され、マスクステージ 132 とウェハステージ 176 の位置は、例えば、レーザ干渉計などにより監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。ステージ 176 は、例えば、ダンパを介して床等の上に支持されるステージ定盤上に設けられる。マスクステージ 132 及び投影光学系 140 は、例えば、鏡筒定盤は床等に載置されたベースフレーム上にダンパ等を介して支持される図示しない鏡筒定盤上に設けられる。

10

【0038】

液体 180 には、投影光学系 140 のウェハ 170 への最終面が浸漬され、露光波長の透過率がよく、投影光学系に汚れを付着させず、レジストプロセスとのマッチングが良い物質が選択される。投影光学系 140 の最終面には液体 180 からの影響を保護するためにコーティングを施されている。

【0039】

以下、図 4 を参照して、マスクパターン  $MP_{20}$  の基本構成としての基本パターン  $MP_{10}$  について説明する。ここで、図 4 は、マスクパターン  $MP_{10}$  の平面図である。同図に示すように、マスクパターン  $MP_{10}$  は、行列状パターン  $MP_{11}$  と千鳥格子状パターン  $MP_{12}$  の混在パターンである。行列状パターン  $MP_{11}$  は、複数のコンタクトホール CH が行列状に配置されたパターンであり、千鳥格子状パターン  $MP_{12}$  は複数のコンタクトホール CH の 1 列の周期パターンが隣り合う行で互いに半ピッチずれているパターンである。より詳細には、行列状パターン  $MP_{11}$  は、ある 1 つのコンタクトホール  $CH_1$  の中心に 8 つのホール  $CH_2$  が配置された 4 角形のパターン  $T_1$  の集合体である。千鳥格子状パターン  $MP_{12}$  は、ある 1 つのコンタクトホール  $CH_1$  の中心に 6 つのコンタクトホール  $CH_2$  が配置された 3 角形のパターン  $T_2$  の集合体である。なお、コンタクトホール  $CH_1$  及び  $CH_2$  は同一のコンタクトホール CH であり、コンタクトホール CH によって総括される。なお、図 4 はバイナリマスクを示しており、マスクパターン  $MP_{10}$  において、コンタクトホール CH は光透過部であり、LS は遮光部である。但し、マスク 130 は、ハーフトーンマスクでもよい。ハーフトーンマスクではホールの部分が透過率 1 の光透過部であり、ホール周囲の透過率 6 % 程度の半遮光部、ホール周囲はホールの部分と位相が 180 度反転している。

20

30

【0040】

図 5 (a) は、マスクパターン  $MP_{11}$  及び  $MP_{12}$  の集合であるマスクパターン (又はコンタクトホールパターン)  $MP_{20}$  の平面図である。パターン  $MP_{21}$  においては、コンタクトホール CH の幅を  $W_1$  とし、X 方向のピッチを  $P_{x1}$ 、Y 方向のピッチを  $P_{y1}$  とする。X 又は横方向は列方向であり、各列のコンタクトホール列はピッチ  $P_{x1}$  の周期パターンである。各コンタクトホール列は、上下の列と整列し、4 角形のパターンの集合体を形成する。パターン  $MP_{22}$  においては、コンタクトホール CH の幅を  $W_2$  とし、X 方向のピッチを  $P_{x2}$ 、Y 方向のピッチを  $P_{y2}$  とする。X 又は横方向は列方向であり、各列のコンタクトホール列はピッチ  $P_{x2}$  の周期パターンである。パターン  $MP_{22}$  においては、各コンタクトホール列は、上下の列とピッチの半分 ( $P_{x2} / 2$ ) ずらして配置され、3 角形のパターンの集合体を形成する。

40

【0041】

以下、図 27 (b) 及び図 27 (a) のような、輪帯照明及び小 照明が図 5 (a) に示す混在パターンには不十分である理由を説明する。ここで、図 27 (a) は円形の有効光源形状を有する小 照明の平面図であり、図 27 (b) は輪帯の有効光源形状を有する輪帯照明の平面図である。マスク 130 は、ハーフトーンマスクで図 5 (a) に示す混在

50

パターンを有し、 $W_1 = W_2 = 80 \text{ (nm)}$ 、 $P_{x1} = P_{y1} = P_{x2} = P_{y2} = P = 160 \text{ (nm)}$ 、パターンのハーフピッチは  $80 \text{ nm}$  ( $k_1 = 0.56$ ) である。ArFエキシマレーザー、NA 1.35、図 27 (b) に示す輪帯照明 (外側  $= 0.70$ 、内側  $i_n = 0.56$ ) を有する露光装置を用いて混合パターンを露光し、図 5 (a) の左右の解像性を比較する。

#### 【0042】

デフォーカスに対して、コントラストとコンタクトホール CH の大きさ (Critical Dimension: CD) は図 28 (a) 及び図 28 (b) に示すように変化する。図 28 (b) の縦軸は所定の幅  $W$  に対して  $0.9$  倍から  $1.1$  倍までの  $\pm 10\%$  まで、即ち、所定の幅  $80 \text{ (nm)}$  に対して下限を  $72 \text{ (nm)}$ 、上限を  $88 \text{ (nm)}$  までをプロットしている。この範囲内の変動を許容するデフォーカス範囲を CD 深度とする。即ち、CD 深度は、コンタクトホール CH の幅が所定の幅  $W$  に対して  $0.9$  倍から  $1.1$  倍までの  $\pm 10\%$  の変動を許容するデフォーカス範囲とする。コントラストはかなり高く、コントラスト  $40\%$  以上得られるフォーカス範囲は  $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 、幅  $0.2 \mu\text{m}$  あるが、デフォーカスに対して CD 変化が大きく、CD 深度が得られない。

10

#### 【0043】

照明条件を図 27 (a) に示す小 照明にしても CD 深度は同じ程度かそれ以下しか得られない。ハーフピッチ  $80 \text{ (nm)}$  では量産に必要な深度は  $0.2 \mu\text{m}$  以上必要である。

#### 【0044】

また、上述の輪帯照明は照明光の偏光状態は無偏光である無偏光照明としているが、偏光状態を変化させて照明しても CD 深度を大きくすることはできない。

20

#### 【0045】

本実施例で提案する 3 光束干渉又は 4 光束干渉はかかる問題を解決するものである。以下、本実施例による解像する方法について説明する。図 5 (a) に示す混在パターン  $MP_{20}$  の回折光が飛ぶ様子を図 5 (b) 及び図 5 (c) に示す。図 5 (b) は図 5 (a) のパターン  $MP_{21}$  に対応し、コンタクトホール幅  $W_1 = 80 \text{ (nm)}$ 、ピッチ  $P_{x1} = P_{y1} = 160 \text{ (nm)}$  の回折光の振幅を示したものである。図 5 (c) は図 5 (a) のパターン  $MP_{22}$  に対応し、コンタクトホール幅  $W_2 = 80 \text{ (nm)}$ 、ピッチ  $P_{x2} = P_{y2} = 160 \text{ (nm)}$  の回折光の振幅を示したものである。パターン  $MP_{21}$  に対しては 0 次回折光の周囲に 8 点の 1 次回折光が格子状に分布し、パターン  $MP_{22}$  に対しては 0 次回折光の周囲に 6 点の 1 次回折光が六角形状に分布している。

30

#### 【0046】

図 5 (b) 及び図 5 (c) は、バイナリーマスクからの回折光分布であるが、ハーフトーンマスクでも回折パターンは変わらず、0 次回折光と 1 次回折光の振幅の比が異なるだけである。参考として、図 5 (b) 及び図 5 (c) に投影光学系 140 の  $NA = 1.35$  としたときの瞳の大きさを白線の円で示す。また、ハーフピッチ  $80 \text{ (nm)}$  の  $k_1$  は  $0.56$  である。

#### 【0047】

パターン  $MP_{10}$  の解像には、0 次回折光と 1 つ以上の 1 次回折光が干渉しなければ結像しない。従って、0 次回折光と 1 つの 1 次回折光の干渉である 2 光束干渉、または 0 次回折光と 2 つあるいは 3 つの 1 次回折光の干渉である 3 光束干渉あるいは 4 光束干渉などが考えられる。しかしホールを形成するためには、2 光束干渉では 2 方向からの重ねあわせをしなければならずコントラストが得られない。従って 3 光束干渉以上が好ましく、なるべく微細なパターンを結像させるためには、少ない光束の干渉が好ましい。

40

#### 【0048】

以下、図 6 (a) 及び図 6 (b) を参照して、ある光源からの光がパターン  $MP_{11}$  および  $MP_{21}$  を結像させるための条件を考察する。図 6 (a) に示す有効光源 (白色部分) からは、図 6 (b) に示すように、0 次回折光が位置 A に入射し、他の回折光がその周囲に回折する。0 次回折光 A と 1 次回折光 B 乃至 D が瞳に入射すると 0 次回折光 A と 1 次

50

回折光 B 乃至 D が干渉して 4 光束干渉となる。4 光束干渉をもたらす瞳の大きさと光源位置は次の関係を有する。

【 0 0 4 9 】

パターン  $MP_{21}$  のピッチは X 方向のピッチを  $P_x$ 、Y 方向のピッチを  $P_y$  とする。4 光束が瞳の中心位置に対して対称に入射すると、距離  $a$  乃至  $d$  が等しくなる。パターンのピッチ  $P_x$ 、 $P_y$  を  $NA$  と で規格化し、 $P_{xo}$ 、 $P_{yo}$  で表すと次式のようなになる。

【 0 0 5 0 】

【数 2】

$$P_{xo1}/2 = (P_{x1}/2) \cdot NA/\lambda$$

10

【 0 0 5 1 】

【数 3】

$$P_{yo1}/2 = (P_{y1}/2) \cdot NA/\lambda$$

【 0 0 5 2 】

AC と AD のなす角を とすると次式が成立する。

【 0 0 5 3 】

【数 4】

$$AD = BC = 1/P_{xo1}$$

20

【 0 0 5 4 】

【数 5】

$$AB = CD = 1/P_{yo1}$$

【 0 0 5 5 】

【数 6】

$$\alpha = \tan^{-1} (P_{xo1}/P_{yo1})$$

30

【 0 0 5 6 】

距離  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  が等しくなる条件では、 $2a \sin(\quad) = 1/P_{yo1}$  より次式が成立する。

【 0 0 5 7 】

【数 7】

$$a = b = c = d = 1 / (4 (P_{yo1}/2)) / \sin(\alpha)$$

40

【 0 0 5 8 】

瞳の中心位置を点 O とすると、4 光束の距離  $a$  乃至  $d$  が等しくなる。瞳の中心位置を点 O におくためには、0 次回折光を瞳の中心位置から  $a$  だけ離れるように、ある光源位置を数式 7 で規定される距離  $a$ 、数式 6 で規定される方向 の位置に配置する。以上が、4 光束干渉の光源位置の条件である。対称性から、 $\alpha$ 、 $\alpha + \pi$ 、 $\alpha + \pi/2$ 、 $\alpha + 3\pi/2$  の方向でも同じである。このようにして 4 重極照明が導かれる。

したがってパターン  $MP_{21}$  の解像のために 4 光束を干渉させるには、4 重極照明が好適である。この場合、図 12 (a) に示すように、4 重極のある 1 つの有効光源からの光がパターンによって回折して行列状の回折パターンが形成され、0 次回折光 A と 1 次回折光 B、C、D の 4 光束が瞳内を通過及び干渉する。4 重極照明は、4 重極の全光源がこのよ

50

うな 4 光束干渉を行うので、パターン  $MP_{21}$  の解像に適している。

4 重極照明の各光源の方向は上記のようにすると対称性がよいパターンとなる。4 光束が瞳に入射する最小半径は次式で与えられる。

【 0 0 5 9 】

【 数 8 】

$$a=b=c=d=1/(4(P_{y01}/2))\sin(\alpha)<1$$

【 0 0 6 0 】

また、4 光束が瞳に入射する最大半径は図 7 の円より小さい半径である。この円より小さい半径にすると 4 光束のみが瞳に入射するが、この円より大きい半径だと 4 光束より多くの回折光が瞳に入射し、デフォーカスの悪化が大きくなる。このため、次式が成立する。

【 0 0 6 1 】

【 数 9 】

$$OA=AE/2\cos\beta$$

【 0 0 6 2 】

【 数 1 0 】

$$AE=2/P_{y01}\sin(\alpha+\beta)$$

【 0 0 6 3 】

【 数 1 1 】

$$\beta=\tan^{-1}(2P_{x01}/P_{y01})-\alpha$$

【 0 0 6 4 】

【 数 1 2 】

$$OA=1/2(P_{y01}/2)\sin(\alpha+\beta)\cos\beta>1$$

【 0 0 6 5 】

以上が 4 光束干渉の瞳の大きさの条件である。

【 0 0 6 6 】

たとえば、パターン  $MP_{21}$  のピッチについて、 $P_{x1}$  と  $P_{y1}$  が等しいとき、 $P$  と置くと

【 0 0 6 7 】

【 数 1 3 】

$$P_{x1}/2=P_{y1}/2$$

【 0 0 6 8 】

【 数 1 4 】

$$P_{x1}/2=P_{y1}/2=P/2$$

【 0 0 6 9 】

10

20

30

40

【数 1 5】

$$P/2 = k_1 \lambda / NA$$

【0 0 7 0】

従って、4 光束全てが瞳に入射する条件は数式 8 より次式で規定される。

【0 0 7 1】

【数 1 6】

$$0.25\sqrt{2} < k_1$$

10

【0 0 7 2】

4 光束より多く回折光が瞳に入射しないための条件は数式 1 2 より次式の通りである。

【0 0 7 3】

【数 1 7】

$$k_1 < 0.589$$

【0 0 7 4】

数式 1 6 及び数式 1 7 から数式 1 8 が成立する。

20

【0 0 7 5】

【数 1 8】

$$0.354 < k_1 < 0.589$$

【0 0 7 6】

数式 1 5 を満足するパターンが 4 光束干渉する NA は次式で与えられる。

【0 0 7 7】

【数 1 9】

$$0.354\lambda / (P/2) < NA < 0.589\lambda / (P/2)$$

30

【0 0 7 8】

光源の中心位置を次のように設定する。

【0 0 7 9】

【数 2 0】

$$a = 0.354 / k_1$$

【0 0 8 0】

【数 2 1】

$$\alpha = 45^\circ$$

40

【0 0 8 1】

この場合、光源の方向は  $45^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $225^\circ$ 、 $315^\circ$  となる。また、 $\theta$  は  $\theta = a + r$  となる。

【0 0 8 2】

一方、混在パターンでは  $MP_{21}$  を結像させるための光が  $MP_{22}$  のパターンも照明するから、 $MP_{22}$  の結像の様子について以下に述べる。

パターン  $MP_{21}$  のハーフピッチは  $P_{x1} / 2$  と  $P_{y1} / 2$  であったが、パターン  $MP_{22}$

50

$_2$  のハーフピッチは  $P \times _2 / 2$  と  $P y _2 / 2$  とする。

【 0 0 8 3 】

このとき、図 8 ( a ) のように、パターン  $M P _{2 \ 1}$  を 4 光束干渉させる条件でパターン  $M P _{2 \ 2}$  を照明すると図 8 ( b ) のような回折光 A , B , E のような 3 光束干渉となる。ここで、図 8 ( a ) は、パターン  $M P _{2 \ 1}$  を 4 光束干渉させる瞳と回折光との関係を示す平面図である。図 8 ( b ) は、パターン  $M P _{2 \ 2}$  を 3 光束干渉させる瞳と回折光との関係を示す平面図である。

【 0 0 8 4 】

パターンが大きくなり回折角の入射角度が小さくなると、相対的に回折角の入射角度に対して瞳半径が大きくなる。回折角の入射角度に対して瞳半径が図 8 ( b ) に示す点線のようにになると高次光が瞳に入射して 5 光束干渉となり、瞳半径が点線より小さいとき、瞳内を 3 光束が入射する。図 8 ( a ) と図 8 ( b ) において、長さ a 、角度  $\alpha$  は共通のため等しい。このため、数式 6 と、a について数式 7 が成立する。NA の最小値は 4 光束が瞳に入射する条件より、a について数式 8 が成立する。 $A B = E F = 1 / P y o _2$  、E から線 A B までの長さは  $1 / P x o _2$  だから、

NA の最大値は 3 光束が瞳に入射する条件から次式のようになる。

【 0 0 8 5 】

【 数 2 2 】

$$e = 1 / ( 2 ( P x o _2 / 2 ) ) - a \cos (\alpha)$$

【 0 0 8 6 】

【 数 2 3 】

$$f = 1 / ( 2 ( P y o _2 / 2 ) ) / ( \sin ( \tan^{-1} ( 1 / ( 2 ( P y o _2 / 2 ) / e ) ) ) ) > 1$$

【 0 0 8 7 】

従って  $M P _{2 \ 1}$  を 4 光束干渉させる条件で  $M P _{2 \ 2}$  を解像させるためには NA ,  $\alpha$  、パターンピッチの間でこれらの関係を満足するとよい。すなわちパターンピッチの下限は数式 8 であり、上限は数式 1 2 または数式 2 3 のどちらか小さいパターンピッチできまり、パターンピッチはこれら下限と上限の間にすると、必ず 3 光束干渉または 4 光束干渉が行なわれるため C D 深度が得られるようになる。

【 0 0 8 8 】

この条件を満たすことによって、パターン  $M P _{2 \ 1}$  が 4 光束干渉し、パターン  $M P _{2 \ 2}$  が 3 光束干渉するように光が入射され、瞳の中心位置に対してなるべく対称に回折光が分布する。これより多くの回折光が入射すると、図 7 に示すように、回折光の分布が瞳中心に対して対称でなくなるため、デフォーカス波面の位相差が大きくなり、デフォーカス時の像性能が悪化する。しかしながらこのような光は、数式 1 2 または数式 2 3 によって排除される。先ほどの例で、パターン  $M P _{2 \ 1}$  のピッチについて、 $P x _1$  と  $P y _1$  が等しいとき、パターン  $M P _{2 \ 2}$  のピッチについて、 $P x _2$  と  $P y _2$  が等しく、 $P x _1$  と  $P x _2$  が等しいとき、これらを P と置く。このとき、4 光束より多く回折光が瞳に入射しない条件は次式で規定される。

【 0 0 8 9 】

【 数 2 4 】

$$0.354 < k_1 < 0.56$$

【 0 0 9 0 】

数式 1 5 で規定されるパターンが 3 光束又は 4 光束干渉する NA は次式で与えられる。

【 0 0 9 1 】

10

20

30

40

50

【数 2 5】

$$0.354\lambda / (P/2) < NA < 0.56\lambda / (P/2)$$

【0092】

次に、図9(a)及び図9(b)を参照して、ある光源からの光がパターンMP<sub>22</sub>を結像させる条件について検討する。図9(a)に示す有効光源(白色部分)からは、図9(b)に示すように、0次回折光は位置Aに入射し、他の回折光がその周囲に回折する。0次回折光Aと1次回折光B及びCが瞳に入射すると0次回折光Aと1次回折光B及びCが干渉し、3光束干渉となる。3光束干渉を与える瞳の大きさと光源の位置は次のようになる。パターンMP<sub>22</sub>のX方向のピッチをP<sub>x2</sub>、Y方向のピッチをP<sub>y2</sub>とする。3光束が瞳の中心位置Oに対して対称に入射すると距離a乃至cが等しくなる。図9(b)に示す回折光A乃至Cの3光束干渉を考える。P<sub>x2</sub>、P<sub>y2</sub>をNAとで規格化し、P<sub>x02</sub>、P<sub>y02</sub>で表すと、数式2及び3のようになる。距離a乃至cが等しくなる条件では、ABの中点をL、CDの中点をMとするとAMとACのなす角とACとALのなす角は等しく、AOとACのなす角は等しい。これらの角を/2とすると、AMとAOのなす角はとなる。

10

【0093】

【数 2 6】

$$AM=CL=1/P_{x02}$$

20

【0094】

【数 2 7】

$$AB=CD=1/P_{y02}$$

【0095】

【数 2 8】

$$\alpha = 2 \tan^{-1} (P_{x02} / (2P_{y02}))$$

30

【0096】

a sin( ) = 1 / P<sub>y</sub> より次式が成立する。

【0097】

【数 2 9】

$$a=b=c=1 / (4 (P_{y02}/2)) / \sin(\alpha)$$

【0098】

瞳の中心位置を点Oとすると、光源位置を距離a、方向を数式7、数式28のように配置する。以上が、3光束干渉の光源位置の条件である。対称性から0、  
、  
、  
、  
、  
2  
の方向でも同じである。このようにして6重極照明が導かれる。6重極照明の各光源の方向は0、  
、  
、  
、  
、  
、  
、  
2  
とする。パターンMP<sub>22</sub>の解像のために3光束を干渉させるには、図13(a)に示す6重極照明が好適である。この場合、図13(b)に示すように、6重極のある1つの有効光源からの光がパターンによって回折して千鳥格子状の回折パターンとなり、0次回折光Aと1次回折光のB、Cの3光束が瞳内を通過及び干渉する。6重極照明は、6重極の全ての光源がこのような3光束干渉を行うので、パターンMP<sub>22</sub>の解像に適している。6重極照明の各光源の方向は上記のようにすると対称性がよいパターンとなる。このとき3光束が瞳に入射する最小半径は、次式で与えられる。

40

【0099】



【数 3 0】

$$a=b=c=1/(4(P y o_2/2)) \sin(\alpha) < 1$$

【0 1 0 0】

また、3 光束が瞳に入射する最大半径は図 1 0 に示す点線より小さい半径である。点 O が中心となる光源の他の光源では、例えば、図 1 0 のように点 O<sub>1</sub> が中心となり、 $a = b = c = a' = b' = c'$  となる。点線より小さい半径にすると 3 光束のみが瞳に入射するが、点線より大きい半径だと 4 光束以上の回折光が瞳に入射し、デフォーカスの悪化が大きくなる。従って、次式が成立する。

【0 1 0 1】

【数 3 1】

$$d=e=1/(2(P y o_2/2)) \sin(\tan^{-1}(1/(2(P y o_2/2))/a)) > 1$$

【0 1 0 2】

以上が、3 光束干渉の瞳の大きさの条件である。

【0 1 0 3】

例えば、パターンのピッチが  $P x_2 = P y_2 = P$  のとき、パターンのハーフピッチを N A と規格化して  $k_1$  で表すと  $a = 1/(3 \cdot 2 k_1)$ 、 $\alpha = 53(\text{deg})$ 、光源の中心位置は  $1/(3 \cdot 2 k_1)$  となる。6 重極照明の各光源の方向は  $53^\circ$ 、 $127^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $233^\circ$ 、 $307^\circ$  に設定すると対称性がよいパターンとなる。この時の最小解像力は、 $1/(3 \cdot 2 k_1) < 1$  より、次式で規定される。

【0 1 0 4】

【数 3 2】

$$k_1 > 0.3125$$

【0 1 0 5】

【数 3 3】

$$0.3125 < k_1 < 0.589$$

【0 1 0 6】

瞳の大きさ (N A) が決まっているときはパターンのハーフピッチを数式 3 3 に示すように設定する。パターンのハーフピッチが決まっているときは瞳の大きさ (N A) を次式のように設定する。

【0 1 0 7】

【数 3 4】

$$0.31\lambda/(P/2) < NA < 0.59\lambda/(P/2)$$

【0 1 0 8】

一方、混在パターンでは  $M P_{22}$  を結像させるための光が  $M P_{21}$  のパターンも照明するから、 $M P_{21}$  の結像の様子について以下に述べる。

パターン  $M P_{21}$  のハーフピッチは  $P x_1/2$  と  $P y_1/2$ 、パターン  $M P_{22}$  のハーフピッチは  $P x_2/2$  と  $P y_2/2$  である。

以下、図 1 1 (a) 及び図 1 1 (b) を参照して、パターン  $M P_{22}$  を 3 光束干渉させる条件でパターン  $M P_{21}$  を照明すると図 1 1 (b) のように回折光 A, B, E, D の 4 光束干渉となる。図 1 1 (b) は、パターン  $M P_{21}$  を 4 光束干渉させる瞳と回折光との関係を示す平面図である。図 1 1 (a) は、パターン  $M P_{22}$  を 3 光束干渉させる瞳と回折光との関係を示す平面図である。図 1 1 (a) と図 1 1 (b) において、長さ a、角度は共通のため等しい。まず、次式、数式 2 8 及び 2 9 が成立する。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 9 】

【 数 3 5 】

$$AE=BD=1/P_{xo_1}$$

【 0 1 1 0 】

【 数 3 6 】

$$AB=DE=1/P_{yo_1}$$

10

【 0 1 1 1 】

4 光束が瞳に入射する最小半径は、図 1 1 ( b ) に示す円より大きい半径である。

【 0 1 1 2 】

【 数 3 7 】

$$c=1/(2P_{xo_1}/2)-a\cos(\alpha)$$

【 0 1 1 3 】

【 数 3 8 】

$$d=e=1/(4(P_{yo_1}/2))/\sin(\tan^{-1}(1/(4(P_{yo_1}/2))/c))>1$$

20

【 0 1 1 4 】

従って  $MP_{22}$  を 3 光束干渉させる条件で  $MP_{21}$  を解像させるためには  $NA$ 、 $\alpha$ 、パターンピッチの間でこれらの関係を満足するとよい。すなわちパターンピッチの下限は数式 3 0 または数式 3 8 のどちらか大きい方できまり、上限は数式 3 1 のパターンピッチであり、パターンピッチはこれら下限と上限の間にとすると  $CD$  深度が得られるようになる。

【 0 1 1 5 】

この条件を満たすことによって、パターン  $MP_{21}$  が 4 光束干渉し、パターン  $MP_{22}$  が 3 光束干渉する。これより多くの回折光が入射する条件は数式 3 8 によって排除される。

30

【 0 1 1 6 】

先ほどの例で、パターン  $MP_{21}$  のピッチについて、 $P_{x1}$  と  $P_{y1}$  が等しいとき、パターン  $MP_{22}$  のピッチについて、 $P_{x2}$  と  $P_{y2}$  が等しく、 $P_{x1}$  と  $P_{x2}$  が等しいとき、これらを  $P$  と置くと 4 光束より多く回折光が瞳に入射しない条件は次式で規定される。 $a=b=c=1/(3.2k_1)$ 、 $\alpha=2\tan^{-1}(0.5)$  より、数式 3 7 は次式のようになる。

【 0 1 1 7 】

【 数 3 9 】

$$d=e=1/(4k_1)/\sin(\tan^{-1}((3.2k_1)/(4k_1)))>1$$

40

【 0 1 1 8 】

【 数 4 0 】

$$k_1>0.40$$

【 0 1 1 9 】

また、 $NA$  の最大値は 3 光束が瞳に入射する条件より、次式が成立する。

【 0 1 2 0 】

【数 4 1】

$$k_1 < 0.59$$

【0 1 2 1】

従って、次式が成立する。

【0 1 2 2】

【数 4 2】

$$0.40 < k_1 < 0.59$$

10

【0 1 2 3】

以上から、数式 1 4 を満足するとき、3 光束又は 4 光束干渉するための条件は数式 4 2 で規定される。数式 1 5 から NA の条件は次式で与えられる。

【0 1 2 4】

【数 4 3】

$$0.40\lambda / (P/2) < NA < 0.59\lambda / (P/2)$$

【0 1 2 5】

更に、6 重極照明において、軸上の光源がパターン  $MP_{21}$  を 4 光束干渉する際、適していないことを次に示す。6 重極照明はパターン  $MP_{22}$  を 3 光束干渉で解像するためには適しているが、パターン  $MP_{21}$  を 4 光束干渉で解像するときにはそうではない。図 1 4 (a) に示す 6 重極照明はパターン  $MP_{21}$  を図 1 4 (b) に示すように解像する。6 重極照明の 6 つの光源  $S_1$  乃至  $S_6$  のうち軸上ではない  $S_5$  の光源では瞳面上では、図 1 4 (b) に示すように、A 乃至 D の 4 光束干渉となる。6 重極照明の軸上の光源  $S_1$  は A、G の 2 光束干渉または A、G、E、F の 4 光束干渉となり、対称な 4 光束干渉とならず、X、Y 方向の非対称性を大きくする。

20

【0 1 2 6】

4 つの光源  $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_5$ 、 $S_6$  は全て 4 光束干渉をしているが、軸上の光源  $S_1$  及び  $S_4$  は他の 4 つの光源と同じような 4 光束干渉とはならないのでパターン  $MP_{21}$  の解像性能が悪化する。軸上の光源  $S_1$  及び  $S_4$  を除くとパターン  $MP_{22}$  を 3 光束干渉で解像する場合でも、パターン  $MP_{21}$  を 4 光束干渉するときと同様に、解像性能はよいことが理解される。

30

【0 1 2 7】

以下、3 光束干渉又は 4 光束干渉の偏光状態について説明する。液浸露光装置では、例えば、 $NA = 1.35$  の液浸露光装置が計画されている。水の屈折率は約 1.44 である。 $NA = 1.35$  の光学系では最大入射角を  $\theta$  とすると、 $NA = n \sin \theta$ 、 $n = 1.44$  から、 $\theta = 70^\circ$  である。斜入射照明の場合、パターンのピッチによっては入射角が 45 度付近になるので、干渉性は偏光状態に大きく依存する。そのため、照明光も干渉性のよい偏光方向にする必要がある。

40

【0 1 2 8】

照明光の偏光の向きは 3 光束干渉でも 4 光束干渉でも、図 1 5 (a) 乃至図 1 5 (c) に示すように、ハーフトーンマスクに対しては動径方向 (ラジアル) 偏光が好ましい。バイナリーマスクに対しては 3 光束干渉では接線方向 (タンジェンシャル) 偏光が好ましいが、4 光束干渉ではラジアル偏光が好ましく、従って無偏光照明がよい。バイナリーマスクではどちらも偏光の効果は少ないので無偏光照明で問題はない。

【0 1 2 9】

図 1 5 (a) は、パターン  $MP_{21}$  及び  $MP_{22}$  を照明するラジアル偏光の 4 重極照明を示している。図 1 5 (b) は、パターン  $MP_{21}$  を 4 光束干渉する場合の瞳と回折光との関係を示す平面図である。図 1 5 (c) は、パターン  $MP_{22}$  を 3 光束干渉する場合の

50

瞳と回折光との関係を示す平面図である。なお、マスク 130 からの回折光は理想的には入射光と同じ向きに偏光しているから、0 次回折光の偏光方向と 1 次回折光の偏光方向は同じである。

#### 【0130】

図 15 (b) は、光源 S3 と S4 からの 0 次回折光と 1 次回折光の 4 光束の様子を示す。光源 S4 について、0 次回折光 A と 1 次回折光 B 乃至 D は 4 光束干渉するが、ラジアル偏光にすると回折光 A 乃至 D は図 15 (b) に示す偏光方向となり、B と D の干渉性がよくなる。同様に、光源 S4 について、0 次回折光 A と 1 次回折光 B 及び C の 3 光束が干渉するが、ラジアル偏光にすると回折光 A 乃至 C は図 15 (c) に示す偏光方向となり、B と C の干渉性がよくなる。

10

#### 【0131】

ハーフトーンマスクの場合、0 次回折光 A と 1 次回折光は振幅の符号が異なり大きさが異なるが、4 光束干渉では B と D は振幅が同じなので、B と D の干渉性がよいとコントラストがよい。3 光束干渉では B と C は振幅が同じなので、B と C の干渉性がよいとコントラストがよい。ハーフトーンマスクの場合、タンジェンシャル偏光にすると回折光 A 乃至 C の偏光方向が 90 度回転した向きとなり、これらの干渉性が弱くなるためコントラストが低下する。

#### 【0132】

しかし、バイナリーマスクの場合、パターン  $MP_{22}$  の 3 光束干渉ではピッチが小さくなると、照明光の偏光の向きはタンジェンシャル偏光にしたほうがよい場合もある。0 次回折光 A と 1 次回折光 B, C は振幅の符号が同じなので、B と C の干渉性より、A と B、A と C と 2 組の干渉性のよいほうが、コントラストを得られる場合がある。もっとも、バイナリーマスクの場合、3 光束干渉でも 4 光束干渉でも偏光による差がそれほど大きくないので無偏光でもよい。

20

#### 【0133】

図 16 (a) に示すラジアル偏光の 6 重極照明がパターン  $MP_{20}$  を照明する場合について軸上でない 4 つの光源では図 15 の説明と同様である。

軸上の光源では A と G の 2 光束干渉、又は、A と G と E と F の 4 光束干渉となるが、A と G の干渉性が悪く、E と F の干渉は Y 方向の周期のコントラストには貢献するが X 方向の周期のコントラストには貢献しない。

30

#### 【0134】

以上、混在パターン MP の照明方法は、図 2 (a) に示すように、軸上を除いたそれぞれの 4 重極照明が好適である。これら、8 重極照明としてもいいし、パターン  $MP_{21}$  とパターン  $MP_{22}$  のピッチが近いときは図 3 に示すような 4 重極照明としてもいい。

#### 【0135】

ピッチが複数あるような、 $MP_{21}$  (行列状パターン) のピッチが  $n_i$  個あり、前記  $MP_{22}$  (千鳥格子状) パターンのピッチが  $n_j$  個あるときにも一般化できる。

#### 【0136】

パターン  $MP_{21}$  の X 方向のピッチを  $P_{xi}$ , Y 方向のピッチを  $P_{yi}$  ( $1 \leq i \leq n_i$ )、パターン  $MP_{22}$  の X 方向のピッチを  $P_{xj}$ , Y 方向のピッチを  $P_{yj}$  ( $1 \leq j \leq n_j$ ) とする。その場合に、パターン  $MP_{21}$  とパターン  $MP_{22}$  の最適な露光条件を満たすために、中心位置  $a_i$ 、列方向からの角度  $\theta_i$ 、 $\theta_i + \pi$ 、 $\theta_i + \pi/2$ 、 $\theta_i - \pi/2$  の 4 方向に位置し、また、中心位置  $a_j$ 、列方向からの角度  $\theta_j$ 、 $\theta_j + \pi$ 、 $\theta_j + \pi/2$ 、 $\theta_j - \pi/2$  の 4 方向に位置する光を含む有効光源を設定する。

40

#### 【0137】

#### 【数 4 4】

$$P_{xo_i}/2 = (P_{xi}/2) NA/\lambda, 1 \leq i \leq n_i$$

#### 【0138】

【数 4 5】

$$P_{y o_i} / 2 = (P_{y_i} / 2) NA / \lambda, 1 \leq i \leq n_i$$

【0 1 3 9】

【数 4 6】

$$P_{x o_j} / 2 = (P_{x_j} / 2) NA / \lambda, 1 \leq j \leq n_j$$

【0 1 4 0】

【数 4 7】

$$P_{y o_j} / 2 = (P_{y_j} / 2) NA / \lambda, 1 \leq j \leq n_j$$

10

【0 1 4 1】

【数 4 8】

$$\alpha_i = \tan^{-1} (P_{x o_i} / P_{y o_i}), 1 \leq i \leq n_i$$

【0 1 4 2】

【数 4 9】

$$\alpha_j = 2 \tan^{-1} (P_{x o_j} / (2 P_{y o_j})), 1 \leq j \leq n_j$$

20

【0 1 4 3】

【数 5 0】

$$a_i = 1 / (4 (P_{y o_i} / 2)) / \sin (\alpha_i), 1 \leq i \leq n_i$$

【0 1 4 4】

【数 5 1】

$$a_j = 1 / (4 (P_{y o_j} / 2)) / \sin (\alpha_j), 1 \leq j \leq n_j$$

30

【0 1 4 5】

3 光束干渉または 4 光束干渉をさせるために、 $NA$ 、 $\lambda$ 、パターンピッチの関係については下記の式を満たすようにする。

$i$ 、 $a_i$  については数式 5 2, 5 3, 5 4 の 3 つの不等式を成立させる。

$j$ 、 $a_j$  については数式 5 5, 5 6, 5 7 の 3 つの不等式を成立させる。

この不等式を満足できないような広い範囲のパターンピッチであるようなときは、後で述べるように補助パターンを入れて、不等式を成立させるようなピッチの範囲にすればよい。後で述べる例では、最小ピッチの 1.5 倍や 2 倍のピッチがあるようなとき、補助パターンを入れることによって、所望のパターンと補助パターンとのピッチがその半分になる。

40

【0 1 4 6】

【数 5 2】

$$1 / (4 (P_{y o_i} / 2)) / \sin (\alpha_i) < 1, 1 \leq i \leq n_i$$

【0 1 4 7】

【数 5 3】

$$1 / (2 (Py_{oi} / 2)) / \sin (\alpha_i + \beta_i) / \cos (\beta_i) > 1, \\ \beta_i = \tan^{-1} (2 Px_{oi} / Py_{oi}) - \alpha_i, 1 \leq i \leq n_i$$

【0 1 4 8】

【数 5 4】

$$1 / (2 (Py_{oj} / 2)) / (\sin (\tan^{-1} (1 / (2 (Py_{oj} / 2)) / e_j))) > 1, \\ e_j = 1 / (2 (Px_{oj} / 2)) - a_i \cos (\alpha_i), 1 \leq j \leq n_j$$

10

【0 1 4 9】

【数 5 5】

$$1 / (4 (Py_{oj} / 2)) / \sin (\alpha_j) < 1, 1 \leq j \leq n_j$$

【0 1 5 0】

【数 5 6】

$$1 / (2 (Py_{oj} / 2)) / (\sin (\tan^{-1} (1 / (2 (Py_{oj} / 2)) / a_j))) > 1, 1 \leq j \leq n_j$$

【0 1 5 1】

【数 5 7】

$$1 / (4 (Py_{oi} / 2)) / (\sin (\tan^{-1} (1 / (4 (Py_{oi} / 2)) / c_i))) > 1, \\ c_i = 1 / (2 (Px_{oi} / 2)) - a_j \cos (\alpha_j), 1 \leq i \leq n_i$$

20

【0 1 5 2】

パターンのピッチが変更可能であれば、パターンMPの最適な露光条件である4つの光源の中心位置aを一致させるために、パターンMP<sub>2 2</sub>のピッチをパターンMP<sub>2 1</sub>のピッチよりも相対的に大きくするとよい。即ち、パターンMP<sub>2 1</sub>のX方向のピッチをPx、Y方向のピッチをPyであるとき、X方向のピッチとY方向のピッチとの比をほとんど同じにし、パターンMP<sub>2 2</sub>のピッチをPxb、Pybとすると次式のようにする。

【0 1 5 3】

【数 5 8】

$$Pxb_o = (Pxb / \lambda) NA$$

30

【0 1 5 4】

【数 5 9】

$$Pyb_o = (Pyb / \lambda) NA$$

【0 1 5 5】

ここで、dを以下のように定義する。

【0 1 5 6】

【数 6 0】

$$Px_o / Py_o = Pxb_o / (Pyb_o) = d$$

40

【0 1 5 7】

すると、次式が成立する。

【0 1 5 8】

【数 6 1】

$$\alpha_1 = \tan^{-1}(d)$$

【0 1 5 9】

【数 6 2】

$$\alpha_2 = 2 \tan^{-1}(d/2)$$

【0 1 6 0】

$a_1 = a_2 = a$  とするためには、以下のものでなければならないから数式 6 4 が成立する 10

【0 1 6 1】

【数 6 3】

$$a = 1 / (2Pybo) / \sin(\alpha_2) = 1 / (2Pyo) / \sin(\alpha_1)$$

【0 1 6 2】

【数 6 4】

$$Pybo = Pyo \cdot \sin(\alpha_1) / \sin(\alpha_2)$$

20

【0 1 6 3】

また、C を以下のように定義する。

【0 1 6 4】

【数 6 5】

$$C = (-1 + \sqrt{1 + d^2}) / d$$

【0 1 6 5】

すると次式が成立する。

【0 1 6 6】

30

【数 6 6】

$$Pybo / Pyo = c(4 + d^2) / 2d(1 + c^2)$$

【0 1 6 7】

$Px / Py = Px b / (Py b) = d = 1$  のとき、 $Py b / Py = Px b / Px = 0.884$  となるので、パターン  $MP_{22}$  のピッチを  $0.884$  倍すると 4 つの光源の中心位置  $a$  が一致する。

【0 1 6 8】

孤立ホールパターンがあったときは図 2 2 (a) 及び図 2 2 (b) に示すように孤立パターンの周囲に 8 個又は 6 個の補助パターンを置く。補助パターンは孤立ホールパターンより小さいホールとする。図 2 2 (a) 及び図 2 2 (b) は、孤立パターンを白いホールで、周囲の補助パターンを灰色のホールで示している。補助パターンは所望のパターンよりも小さく、所望のパターンの解像を補助するが補助パターン自体は解像しないように大きさが決められる。 40

【0 1 6 9】

補助パターンの幅  $S$  はパターンのハーフピッチ  $Px / 2$  の  $0.6$  倍から  $0.8$  倍がよい。補助パターンとの横方向のピッチを  $Px$ 、縦方向のピッチを  $Py$  は、密集パターンの最小ピッチにあわせるとよい。あるいは密集パターンと異なるピッチがあったときは、ピッチが同じくらいになるように補助パターンを置く場合がある。

【0 1 7 0】

50

例えば、図 2 3 ( a ) 乃至図 2 3 ( c ) に示すように、ピッチが  $P_y$  ,  $2 P_y$  ,  $1.5 P_y$  であるようなパターンを考える。図 2 3 ( b ) に示すピッチ  $2 P_y$  のパターンは図 2 4 ( b ) に示すように、補助パターンをホール列の中間に補助パターンを配置し、図 2 4 ( a )、図 2 4 ( b ) は同ピッチにすることができる。図 2 3 ( c ) に示すピッチ  $1.5 P_y$  のパターンはこのようには配置できない。このとき、密集パターンの X 方向のピッチを  $P_x$  , Y 方向のピッチを  $P_y$  であるとする。この場合は、図 2 4 ( c ) に示すように、補助パターンは、ピッチ  $2 P_y$  は補助パターンをホール列の中間に補助パターンを配置しピッチ  $P_y$  の密集パターンとし、ピッチ  $1.5 P_y$  では X 方向にハーフピッチずらして配置することができる。後者の場合、ピッチ  $0.75 P_y$  となる。図 2 3 ( a ) に示すパターンと図 2 4 ( a ) に示すパターンは同じである。図 2 4 ( b ) ( c ) は、所望のパター

10

ンを白いホールで、周囲の補助パターンを灰色のホールで示している。補助パターンは所望のパターンよりも小さく、所望のパターンの解像を補助するが補助パターン自体は解像しないように大きさが決められる。

図 2 4 ( a ) に示す密集パターンと図 2 4 ( b ) に示す中央の補助パターンを入れた 4 角

形の格子からなる密集パターンでは、 $P_{xo} / P_{yo} = d$  と定義すると数式 6 1 が成立し、最適露光条件は次式で与えられる。

【 0 1 7 1 】

【 数 6 7 】

$$a_1 = 1 / (2 P_{yo}) / \sin(\alpha_1)$$

20

【 0 1 7 2 】

$P_x = P_y$  のとき  $a$  は次式で与えられる。

【 0 1 7 3 】

【 数 6 8 】

$$a_1 = 1 / (1.424 \cdot P_{yb o})$$

【 0 1 7 4 】

一方、図 2 4 ( c ) のパターンでは、最適露光条件は次式で与えられる。

30

【 0 1 7 5 】

【 数 6 9 】

$$\alpha_2 = 2 \cdot \tan^{-1}(d / 1.5)$$

【 0 1 7 6 】

【 数 7 0 】

$$a_2 = 1 / (1.5 P_{yo}) / \sin(\alpha_2)$$

40

【 0 1 7 7 】

$P_x = P_y$  のとき  $a$  は次式で与えられる。

【 0 1 7 8 】

【 数 7 1 】

$$a_2 = 1 / (1.385 \cdot P_{yb o})$$

【 0 1 7 9 】

最適露光条件を図 2 のような 8 重極照明としてもいいが、数式 6 8 と 7 1 の  $a_1$ 、 $a_2$  が非常に近いため、最適露光条件を図 3 のような 4 重極照明として設定することができる

50



。このとき、補助パターン以外の所望のパターンで大きさ補正（バイアス）をすることは必要である。

#### 【実施例 1】

##### 【0180】

実施例として、ArFエキシマレーザーと $NA = 1.35$ の液浸露光装置でパターン $MP_{20}$ を同時に結像させる。水の屈折率は約 $1.44$ である。4重極照明での結像性能を、コントラストとCD深度を評価尺度として用い、検討した結果を示す。コントラストはX断面の強度分布の、強度最大値と強度最小値から定義する。パターン $MP_{21}$ では、X断面とY断面でのコントラストは同様に定義できるが、パターン $MP_{22}$ ではY断面でのコントラストはX断面と同様に定義できない。パターン $MP_{22}$ では、Y方向にはコンタクトホールが1列おきにあるためである。

10

##### 【0181】

また、露光工程では、露光量の誤差やフォーカス設定誤差がどうしても存在するが、実際に考えるこれらの誤差範囲内で像面にコンタクトホールが作成されなければならない。また、レジストを感光させるため、コントラスト40%以上が必要であるといわれている。露光量の誤差を5%と見積もって、像面上のコンタクトホールの大きさが所定のコンタクトホール幅に対して10%以内の変動を許容し、かつコントラスト40%以上を満たすフォーカス範囲を実用的な深度と定義する。即ち、5%の露光量の変化に対して、所定のコンタクトホール幅を $W$ とすると、像面上のコンタクトホールの幅が90%以上110%以下に収まり、かつ、コントラスト40%以上を満たすフォーカス範囲を深度と定義した。

20

##### 【0182】

縦方向と横方向のピッチが同じ、数式14のパターン $MP_{20}$ を4重極照明によって解像する。上述の液浸露光装置でコンタクトホールのピッチを変えて結像させた場合のコントラストと深度を示す。マスクはハーフトーンマスクを用いる。まず、偏光方向によりコントラストがどのように変化するかを調べた。

##### 【0183】

有効光源は図2(a)に示す4重極照明、 $\theta = 0.70$ 、 $4/5$ 輪帯（輪帯内側 $\theta = 0.56$ ）とし、中心角 $30^\circ$ を切り出した。偏光は図15(a)に示すラジアル偏光と、ラジアル偏光と直交するタンジェンシャル偏光と、無偏光の照明を比較した。

30

##### 【0184】

図18(a)はパターン $MP_{21}$ のX断面でのコントラストを示す。図18(b)はパターン $MP_{22}$ のX断面でのコントラストを示す。横軸がコンタクトホールのハーフピッチ(nm)、縦軸がコントラストピークである。図18(a)及び図18(b)より、パターン $MP_{21}$ でもパターン $MP_{22}$ でもラジアル偏光が高コントラストであることが理解される。この照明条件では、パターン $MP_{21}$ のX断面とY断面でのコントラストは一致する。パターン $MP_{22}$ のX断面とY断面では非対称性があるが、Y断面でもラジアル偏光が優位である。

##### 【0185】

次に、ラジアル偏光の4重極照明がハーフピッチに対し、焦点深度がどのように変化するかを調べる。有効光源は $4/5$ 輪帯からの切り出した4重極照明としたが、 $\theta$ をパラメータにとった。偏光方向はラジアル偏光とした。図19(a)はパターン $MP_{21}$ の焦点深度を示す。図19(b)はパターン $MP_{22}$ の焦点深度を示す。横軸がコンタクトホールのハーフピッチ(nm)、縦軸が深度( $\mu m$ )である。

40

##### 【0186】

上述したように、パターン $MP_{21}$ 及び $MP_{22}$ のハーフピッチ $P_x/2$ と $P_y/2$ が等しい場合、ハーフピッチを $P_x/2 = P_y/2 = P/2$ とすると数式15から4光束より多く回折光が瞳に入射しないためには数式24及び数式25が成立する。この条件でパターン $MP_{21}$ は4光束干渉し、パターン $MP_{22}$ は3光束干渉してパターンを形成し、焦点深度を確保することができる。図18(a)及び図18(b)は、この条件を満たす

50

ハーフピッチの範囲、 $0.354 < k_1 < 0.56$  (数式 24) を枠線で囲ってある。図 18 (a) 及び図 18 (b) より、パターン  $MP_{21}$  及び  $MP_{22}$  は共にこの条件を満たすとき、焦点深度が  $0.2 \mu m$  以上得られていることが理解される。

【0187】

また、4重極の中心位置  $a$  が次式を満足するときに4光束干渉では最適である。

【0188】

【数72】

$$a = 1 / (2k_1) / \sqrt{2} = 1 / (2.828k_1) \\ = 1 / (2.828NA \cdot (P/2) / \lambda)$$

10

【0189】

また、4重極の中心位置  $a$  が次式を満足するときに3光束干渉では最適である。

【0190】

【数73】

$$a = 1 / (3.2k_1) = 1 / (3.2NA \cdot (P/2) / \lambda)$$

【0191】

は  $a + r$  より最適な  $a$  が見積もられるが、例えば、ハーフピッチが  $65 (nm)$  のとき、4光束干渉では  $a = 0.86$  となる。3光束干渉では  $a = 0.76$  であり、この条件を満たすとき深度が最大に得られることが確認される。パターン  $MP_{21}$  及び  $MP_{22}$  同時に焦点深度を確保するためにはハーフピッチが  $65 (nm)$  のとき、 $a = 0.80$  とすればよい。従って、4重極照明ではパターン  $MP_{22}$  に対してもパターン  $MP_{21}$  と同様に、最適な照明方法であることが理解される。

20

【0192】

この実施例でも明らかなように、より微細なパターンでは3光束干渉のほうが深度が得られている。したがってなるべく微細なパターンを解像したいならば、4光束干渉の最適条件を優先するか、3光束干渉の最適条件を4光束干渉の最適条件の近づけるような、たとえばパターンピッチの調整などが考えられる。

30

【実施例2】

【0193】

縦方向と横方向のピッチが同じ、 $P_x = P_y = P$  のパターン  $MP_{21}$  とBパターンが混在しているパターンを6重極照明によって解像する。実施例1と同様の液浸露光装置を使用してコンタクトホールのピッチを変えて結像させた場合のコントラストと焦点深度を示す。マスクはハーフトーンマスクを用いた。まず、偏光方向によりコントラストがどのように変化するかを調べた。有効光源は図17 (a) 及び図17 (b) に示す6重極照明で、 $a = 0.70$ 、 $r = 0.10$  とした。偏光はラジアル偏光と、ラジアル偏光と直交するタンジェンシャル偏光と、無偏光照明とを比較する。

【0194】

図20 (a) はパターン  $MP_{21}$  のX断面でのコントラストを示す。図20 (b) はパターン  $MP_{22}$  のX断面でのコントラストを示す。横軸がコンタクトホールのハーフピッチ ( $nm$ )、縦軸がコントラストピークである。図20 (a) 及び図20 (b) より、パターン  $MP_{21}$  でもパターン  $MP_{22}$  でもラジアル偏光が高コントラストである。この照明条件では、パターン  $MP_{22}$  ではどの方向からのも同様であるが、パターン  $MP_{21}$  のX断面とY断面でのコントラストは一致しない。パターン  $MP_{21}$  のX断面ではハーフピッチ  $76 (nm)$  以上、 $k_1 > 0.534$  では軸上の光源が4光束干渉となる。このため、ラジアル偏光ではY方向のほうが干渉性よく、X断面ではコントラストが低下する。しかし、パターン  $MP_{21}$  のX断面ではコントラストが低下しやすいにもかかわらず、X断面でもラジアル偏光が優位である。

40

50

## 【 0 1 9 5 】

次に、ラジアル偏光の4重極照明がハーフピッチに対し、CD深度がどのように変化するかを調べた。有効光源は  $r = 0.10$  とし、 $r$  をパラメータにとった。偏光方向はラジアル偏光とした。図21(a)はパターンMP<sub>21</sub>の焦点深度を示す。図21(b)はパターンMP<sub>22</sub>の焦点深度を示す。横軸がコンタクトホールのハーフピッチ(nm)、縦軸が焦点深度(μm)である。上述したように、パターンMP<sub>21</sub>及びMP<sub>22</sub>のハーフピッチ  $P_x/2$  と  $P_y/2$  が等しい場合、ハーフピッチを  $P_x/2 = P_y/2 = P/2$  とすると数式15から、4光束より多く回折光が瞳に入射しないためには、数式42及び43が成立する。

## 【 0 1 9 6 】

この条件でパターンMP<sub>21</sub>は4光束干渉し、パターンMP<sub>22</sub>では3光束干渉してパターンを形成し、CD深度を確保する。図21(a)及び図21(b)は、この条件を満たすハーフピッチの範囲、 $0.40 < k_1 < 0.59$  (数式42)を枠線で囲っている。図21(a)及び図21(b)より、パターンMP<sub>21</sub>及びMP<sub>22</sub>共にこの条件を満たすときにCD深度0.2μmが得られるが、パターンMP<sub>21</sub>の深度がパターンMP<sub>22</sub>に比べて小さいことが確認される。従って、6重極照明ではパターンMP<sub>22</sub>に対しては最適な照明方法であるが、パターンMP<sub>21</sub>にとっては軸上の有効光源が結像性能を悪化させるために、パターンMP<sub>21</sub>では深度が得られにくい。

## 【 実施例 3 】

## 【 0 1 9 7 】

次に、図23のようなパターンに補助パターンを入れて、図24のようなMP<sub>21</sub>(行列状)パターンとMP<sub>22</sub>(千鳥格子状)のパターンが混在するパターンの照明条件について述べる。

マスクはハーフトーンマスクを用い、コンタクトホールの大きさは60nm、 $P_x = P_y = 120$ nm、補助パターンの幅は  $60 \times 0.8 = 48$ (nm)とした。今までと同じ露光条件、波長ArF(193nm)、NA=1.35の液浸露光装置で、露光する。X, Y方向のハーフピッチ  $P_x/2 = P_y/2 = 60$ nmを  $k_1$  であらわすと  $k_1 = 0.42$ 、すなわち  $P_{xo}/2 = P_{yo}/2 = 0.42$ 、 $P_{xo}/P_{yo} = d = 1$ となる。

## 【 0 1 9 8 】

照明条件は前にも述べたように、図24(a)、(b)のパターンでは、最適な露光条件が数式64より、次式のようになる。

## 【 0 1 9 9 】

## 【 数 7 4 】

$$\alpha_1 = \tan^{-1}(d) = 45 \text{ (deg)},$$

## 【 0 2 0 0 】

## 【 数 7 5 】

$$a_1 = 1 / (1.424 \cdot 0.42 \cdot 2) = 0.84,$$

## 【 0 2 0 1 】

図24(c)のパターンでは、最適な露光条件が、数式65、67より、次式のようになる。

## 【 0 2 0 2 】

## 【 数 7 6 】

$$\alpha_2 = 2 \tan^{-1}(d/1.5) = 67 \text{ (deg)},$$

## 【 0 2 0 3 】

10

20

30

40

【数 7 7】

$$a_2 = 1 / (1.385 \cdot 0.42 \cdot 2) = 0.86、$$

【0 2 0 4】

$a_1$  と  $a_2$ 、 $\theta_1$  と  $\theta_2$  が近い値になるため、最適な照明条件を図 3 のような 4 重極照明として設定することができる。 $a_1$  と  $a_2$  を包含するようにした輪帯の、 $\theta_1$  と  $\theta_2$  を包含する方向の円弧を残し、すなわち輪帯の中心が  $0.85$ 、 $0.755$ 、 $0.945$  の範囲で、 $56$  (deg) を中心に  $\pm 15$  度の中心角の円弧を、 $x$  軸  $y$  軸に対称になるよう 4 箇所で切り出した。偏光はラジアル偏光 (動径方向の偏光) とした。

10

【0 2 0 5】

これらの条件で露光した結果を示す。図 2 5 は図 2 4 の (a) と (c) のパターンを露光した二次元強度分布を示す。図 2 6 は図 2 3 の (a)、(c) のパターンを露光した二次元強度分布を示す。所定の大きさになる強度とその強度の  $\pm 20\%$  の等高線を示してある。実際には左下のパターンのホールには現像後のパターンの大きさが同じになるように大きさのバイアス補正をしてある。

【0 2 0 6】

図 2 5、2 6 (1) はベストフォーカスでの結果、図 2 5、2 6 (2) は  $\pm 0.1 \mu m$  デフォーカスの結果を示す。図 2 5 と図 2 6 を比較すると、ベストフォーカスでは図 2 5 (1) (補助パターンを入れたもの) のほうが  $Y$  方向のコントラストがよく  $Y$  方向の伸びが抑えられている。デフォーカス時ではいっそう図 2 5 (2) の、補助パターンを入れたほうがコントラストが良好であることがわかる。補助パターンを入れていないものは  $y$  方向のピッチはフォービデン (forbidden) ピッチなので深度が得られないが、補助パターンを入れることによって左側の密集パターンと同じくらい深度が得られるようになる。

20

【0 2 0 7】

次に、露光装置 1 0 0 を利用したデバイス製造方法を図 2 9 及び図 3 0 を参照して説明する。ここで、図 2 9 は、半導体デバイス (IC や LSI 等の半導体チップ、あるいは液晶パネルや CCD 等) の製造を説明するためのフローチャートである。ステップ 1 (回路設計) では、半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ 2 (マスク製作) では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ 3 (ウェハ製造) では、シリコン等の材料を用いてウェハを製造する。ステップ 4 (ウェハプロセス) は、前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウェハを用いて、リソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。次のステップ 5 (組み立て) は後工程と呼ばれ、ステップ 4 によって作製されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程 (ダイシング、ボンディング)、パッケージング工程 (チップ封入) 等の工程を含む。ステップ 6 (検査) では、ステップ 5 で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷 (ステップ 7) される。

30

【0 2 0 8】

図 3 0 は、図 2 9 のステップ 4 のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ 1 1 (酸化) では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ 1 2 (CVD) では、ウェハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ 1 3 (電極形成) では、ウェハ上に電極を蒸着等によって形成する。ステップ 1 4 (イオン打ち込み) ではウェハにイオンを打ち込む。ステップ 1 5 (レジスト処理) ではウェハに感光材を塗布する。ステップ 1 6 (露光) では、露光装置 1 0 0 によってマスクパターン  $MP_2$  をウェハ 1 7 0 に露光する。ステップ 1 7 (現像) では露光したウェハ 1 7 0 を現像する。ステップ 1 8 (エッチング) では、現像したレジスト像以外の部部を削り取る。ステップ 1 9 (レジスト剥離) では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによって、ウェハ 1 7 0 上に多重に回路パターンが形成される。本実施形態の製造方法を用い

40

50

れば、従来は製造が難しかった混在パターン  $MP_2$  を安定して解像して高精度の半導体デバイスを製造することができる。

【0209】

以上の結果から、4重極照明を混在パターンに対して最適化することによって、コンタクトホールパターンが3光束干渉又は4光束干渉により結像し、CD深度  $0.2\mu m$  以上を確保することができる。従って、上述の実施例の露光方法は、コンタクトホールの微細化に対して、実用的で有効な方法である。

【0210】

以上、本発明の実施の形態を説明してきたが、本発明はこれらの実施の形態に限定されず、その要旨の範囲内において様々な変形及び変更が可能である。

10

【図面の簡単な説明】

【0211】

【図1】本発明の一実施例の露光装置の概略ブロック図である。

【図2】図2(a)は、図1に示す露光装置の開口絞りに適用可能な一形状の概略平面図である。図2(b)は、図2(a)に示す有効光源で行列状のコンタクトホールパターンを照明した場合の回折光と瞳との関係を示す概略平面図である。図2(c)は、図2(a)に示す有効光源で千鳥格子状のコンタクトホールパターンを照明した場合の回折光と瞳との関係を示す概略平面図である

【図3】図1に示す露光装置の開口絞りに適用可能な別の形状の概略平面図である。

【図4】図1に示すマスクパターンの基本構成の概略平面図である。

20

【図5】図5(a)は、図4に示す基本パターンを適用した図1に示すマスクパターンの一例の平面図である。図5(b)は、図5(a)に示す左側のパターンの回折光を示す平面図である。図5(c)は、図5(a)に示す右側のパターンの回折光を示す平面図である。

【図6】図6(a)は、ある光源からの光が図5(a)の左側に示すパターンを4光束干渉させる条件を検討するための有効光源形状を示す平面図である。図6(b)は、図6(a)に示す有効光源からの回折光と瞳との関係を示す概略平面図である。

【図7】図5(a)の左側に示すパターンを4光束干渉させるために4光束が瞳に入射する最大半径を説明するための概略平面図である。

【図8】図8(a)は、図5(a)の左側のパターンを4光束干渉させる回折光と瞳との関係を示す概略平面図である。図8(b)は、図5(a)の右側のパターンを3光束干渉させる瞳と回折光との関係を示す平面図である。

30

【図9】図9(a)は、ある光源からの光がパターン図5(a)の右側のパターンを3光束干渉させる条件を検討する有効光源形状を示す平面図である。図9(b)は、図9(a)に示す有効光源からの回折光と瞳との関係を示す概略平面図である。

【図10】図5(a)の右側に示すパターンを3光束干渉させるために3光束が瞳に入射する最大半径を説明するための概略平面図である。

【図11】図11(a)は、図5(a)に示す右側のパターンを4光束干渉させる瞳と回折光との関係を示す平面図である。図11(b)は、図5(a)に示す左側パターンを3光束干渉させる瞳と回折光との関係を示す平面図である。

40

【図12】図12(a)は、行列状のコンタクトホールパターンに解像に適した4重極照明の有効光源形状を示す概略平面図である。図12(b)は、図12(a)に示す有効光源で行列状のコンタクトホールパターンを照明した場合の回折光と瞳との関係を示す概略平面図である。図12(c)は、図12(a)に示す有効光源で千鳥格子状のコンタクトホールパターンを照明した場合の回折光と瞳との関係を示す概略平面図である

【図13】図13(a)は千鳥格子状のコンタクトホールパターンの解像に適した6重極照明の有効光源形状を示す平面図である。図13(b)は図13(a)に示す有効光源で図5(a)に示す右側のパターンを照明した場合の回折光と瞳との関係を示す概略平面図である。

【図14】図14(a)は、6重極照明の有効光源形状を示す平面図である。図14(b)

50

）は、図 1 4（a）に示す有効光源で図 5（a）に示す左側のパターンを照明した場合の回折光と瞳との関係を示す概略平面図である。

【図 1 5】図 1 5（a）は、図 5（a）に示すパターンを照明するラジアル偏光 4 重極照明の有効光源形状を示す平面図である。図 1 5（b）は、図 5（a）に示す左側パターンを 4 光束干渉する場合の瞳と回折光との関係を示す平面図である。図 1 5（c）は、図 5（a）に示す右側パターンを 3 光束干渉する場合の瞳と回折光との関係を示す平面図である。

【図 1 6】図 1 6（a）は、ラジアル偏光の 6 重極照明の有効光源を示す平面図である。図 1 6（b）は、図 1 6（a）に示す有効光源で図 5（a）に示す右側のパターンを照明する場合の回折光と瞳との関係を示す平面図である。図 1 6（c）は、図 1 6（a）に示す有効光源で図 5（a）に示す左側のパターンを照明する場合の回折光と瞳との関係を示す平面図である。

【図 1 7】図 1 7（a）は、ラジアル偏光の一例を示す概略平面図である。図 1 7（b）は、タンジェンシャル偏光の一例を示す概略平面図である。

【図 1 8】図 1 8（a）は、4 重極照明の有効光源を用いて図 5（a）に示す左側パターンを照明した場合の、本発明の実施例 1 によるハーフピッチとコントラストとの偏光特性を示すグラフである。図 1 8（b）は、4 重極照明の有効光源を用いて図 5（a）に示す右側パターンの本発明の実施例 1 によるハーフピッチとコントラストとの偏光特性を示すグラフである。

【図 1 9】図 1 9（a）は、図 1 5（a）に示す有効光源を用いて図 5（a）に示す左側パターンを照明した場合の、本発明の実施例 1 によるハーフピッチと焦点深度との特性を示すグラフである。図 1 9（b）は、図 1 5（a）に示す有効光源を用いて図 5（a）に示す右側パターンの本発明の実施例 1 によるハーフピッチと焦点深度との特性を示すグラフである。

【図 2 0】図 2 0（a）は、図 1 6（a）に示す有効光源を用いて図 5（a）に示す左側パターンを照明した場合の、本発明の実施例 2 によるハーフピッチとコントラストとの偏光特性を示すグラフである。図 2 0（b）は、図 1 6（a）に示す有効光源を用いて図 5（a）に示す右側パターンの本発明の実施例 2 によるハーフピッチとコントラストとの偏光特性を示すグラフである。

【図 2 1】図 2 1（a）は、図 1 6（a）に示す有効光源を用いて図 5（a）に示す左側パターンを照明した場合の、本発明の実施例 1 によるハーフピッチと焦点深度との特性を示すグラフである。図 2 1（b）は、図 1 6（a）に示す有効光源を用いて図 5（a）に示す右側パターンの本発明の実施例 2 によるハーフピッチと焦点深度との特性を示すグラフである。

【図 2 2】図 2 2（a）は、行列状に補助パターンの挿入方法を説明するための平面図である。図 2 2（b）は、千鳥格子状に補助パターンの挿入方法を説明するための平面図である。

【図 2 3】図 2 3（a）乃至図 2 3（c）は、行列状のコンタクトホールパターンの平面図である。

【図 2 4】図 2 4（a）は、図 2 3（a）に示す行列状のコンタクトホールパターンの平面図である。図 2 4（b）は、図 2 3（b）に示す行列状のコンタクトホールパターンに補助パターンを挿入した平面図である。図 2 4（c）は、図 2 3（c）に示す行列状のコンタクトホールパターンに補助パターンを挿入して千鳥格子状のパターンとした平面図である。

【図 2 5】図 2 5 は、図 2 4（a）（c）に示すコンタクトホールパターンを図 3 に示す有効光源を用いて結像したときの 2 次元強度分布である。図 2 4（a）は、ベストフォーカス時での 2 次元像、図 2 4（b）は、 $\pm 0.1 \mu\text{m}$  デフォーカス時での 2 次元像である。

【図 2 6】図 2 6 は、図 2 3（a）（c）に示すコンタクトホールパターンを図 3 に示す有効光源を用いて結像したときの 2 次元強度分布である。図 2 3（a）は、ベストフォー

10

20

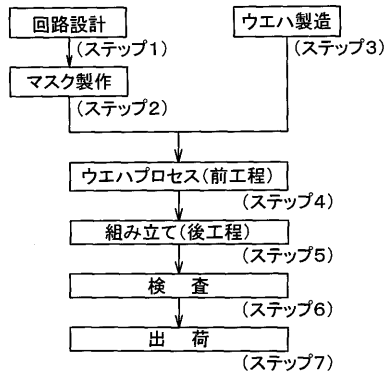
30

40

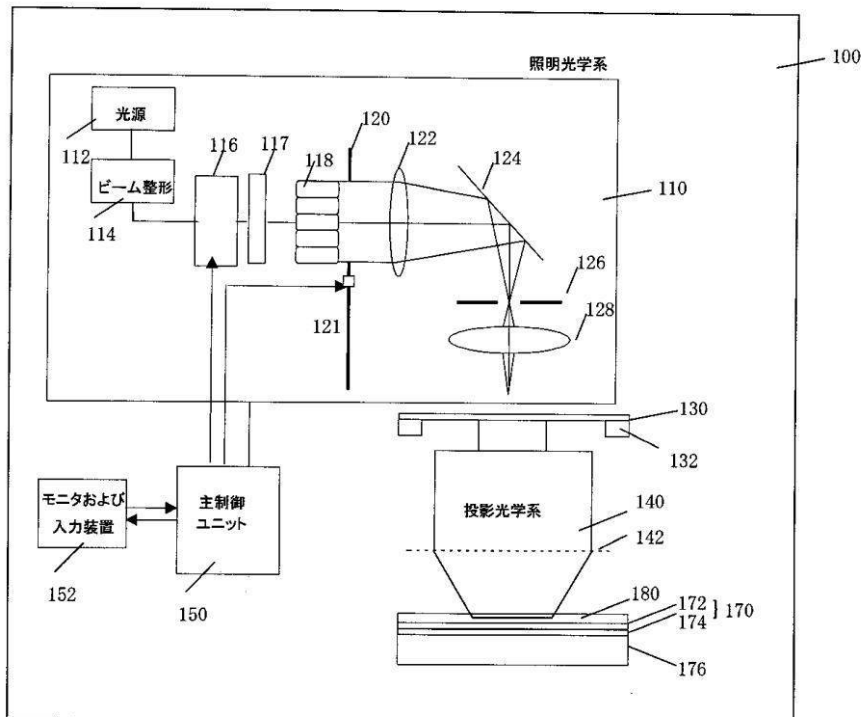
50



【図 29】

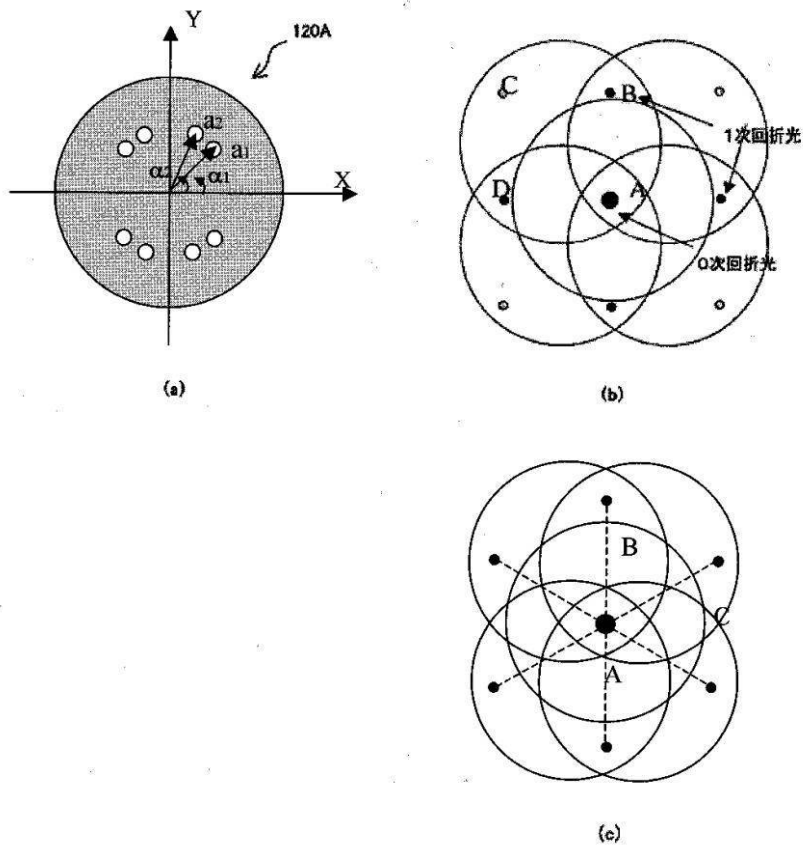


【図 1】

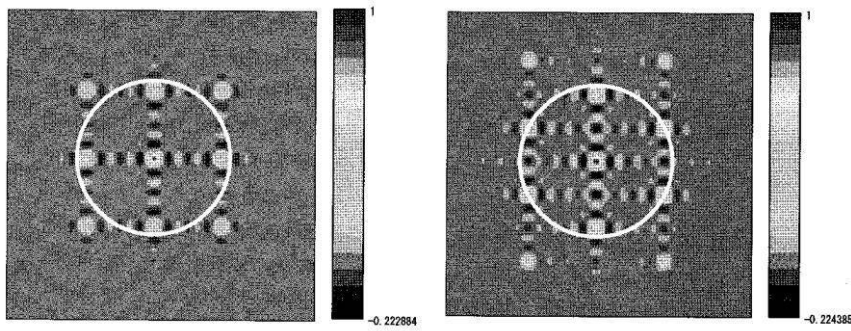
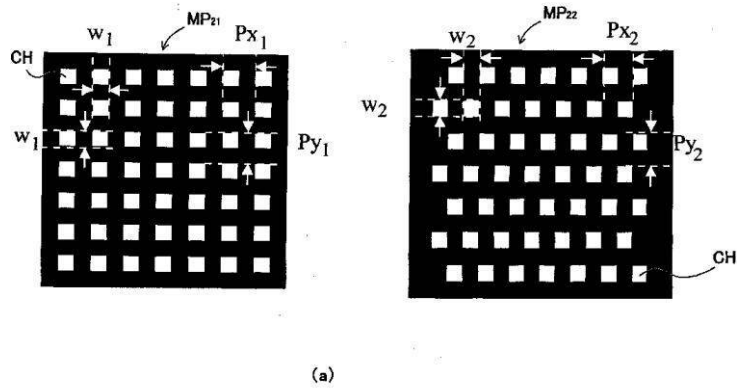




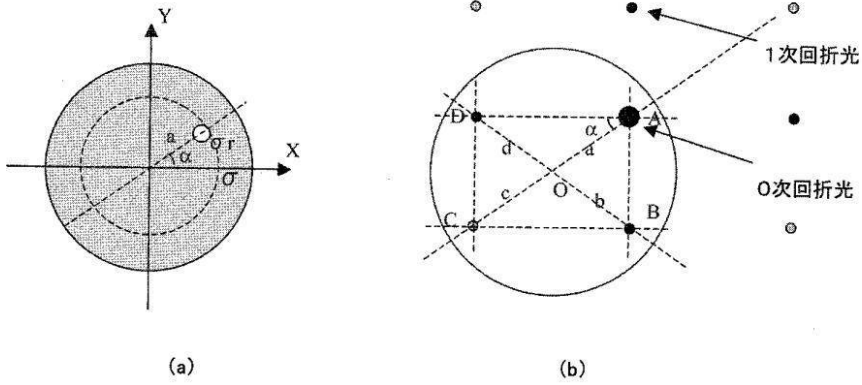
【 図 2 】



【 図 5 】

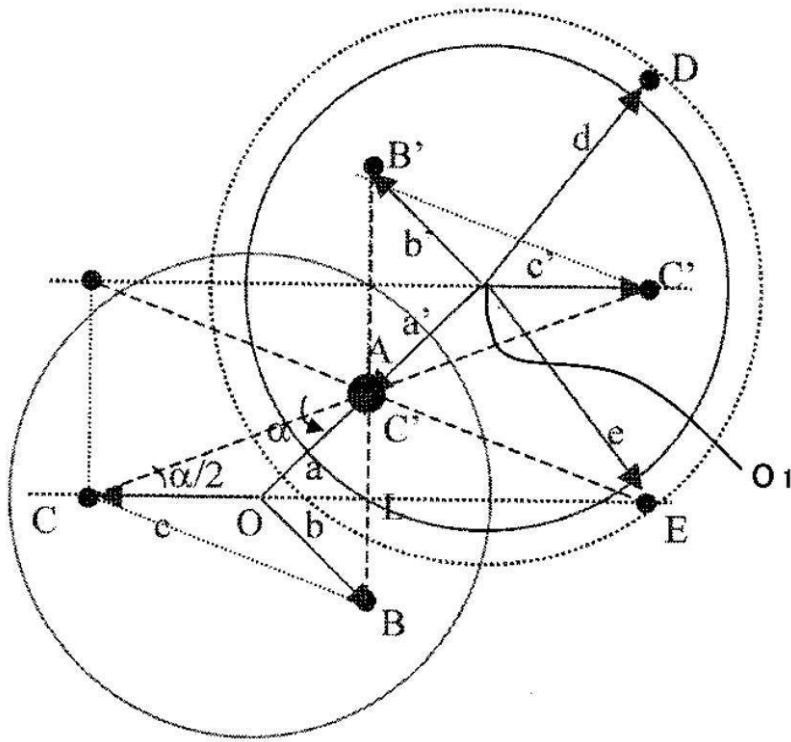


【 図 6 】

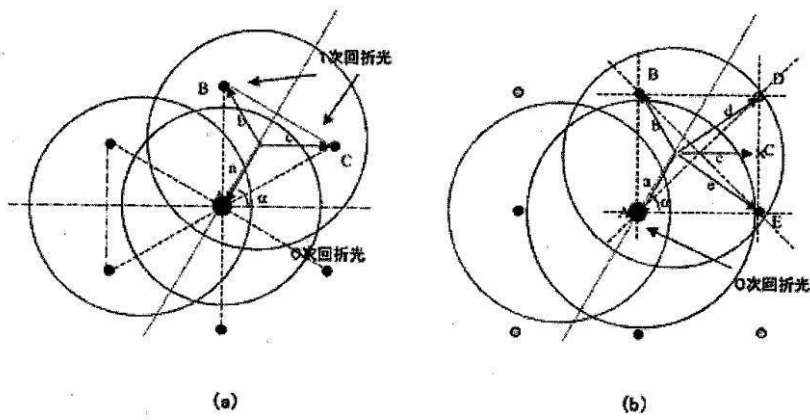




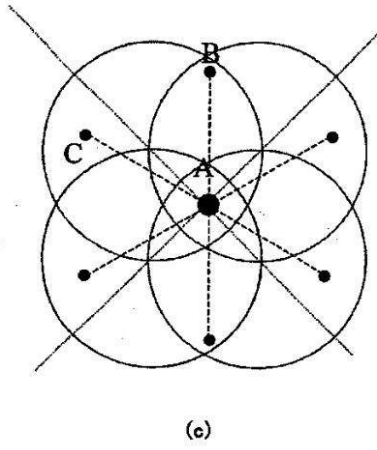
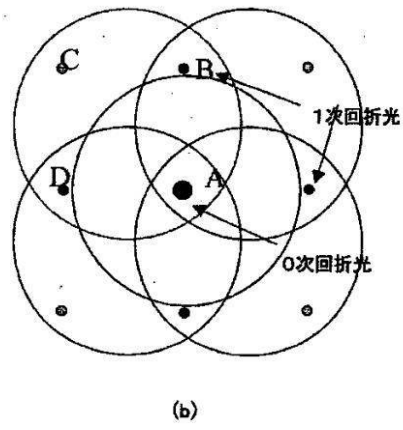
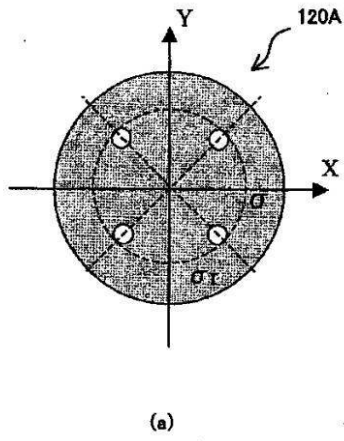
【図 10】



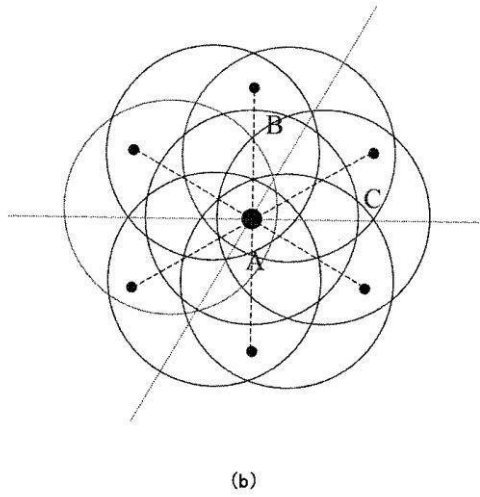
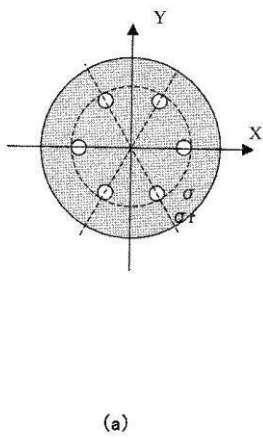
【図 11】



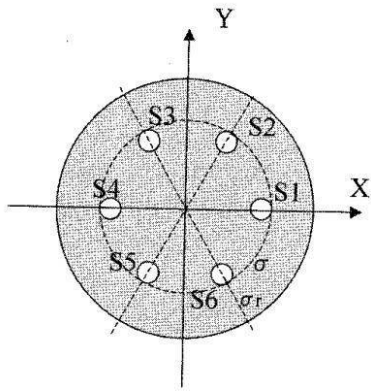
【図 1 2】



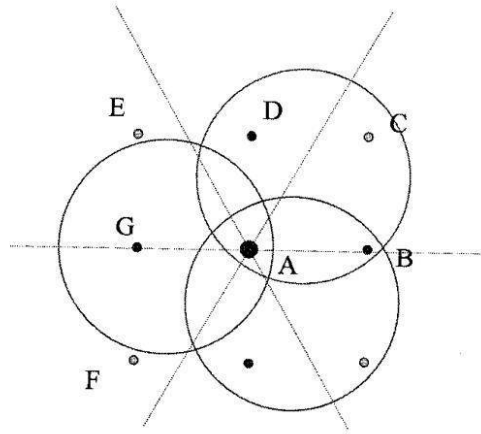
【図 1 3】



【 図 1 4 】

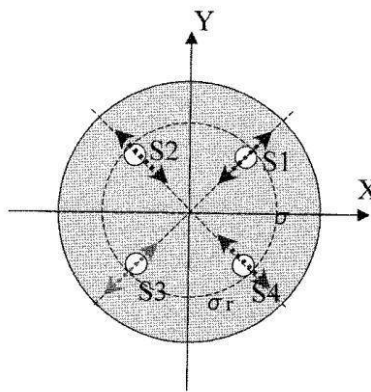


(a)

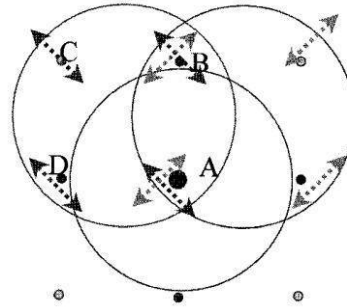


(b)

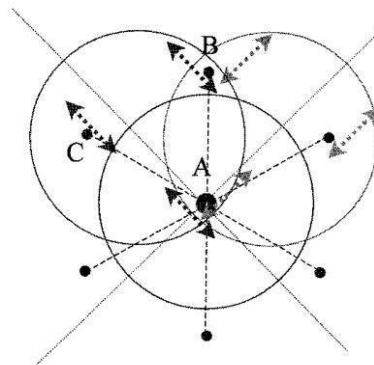
【 図 1 5 】



(a)

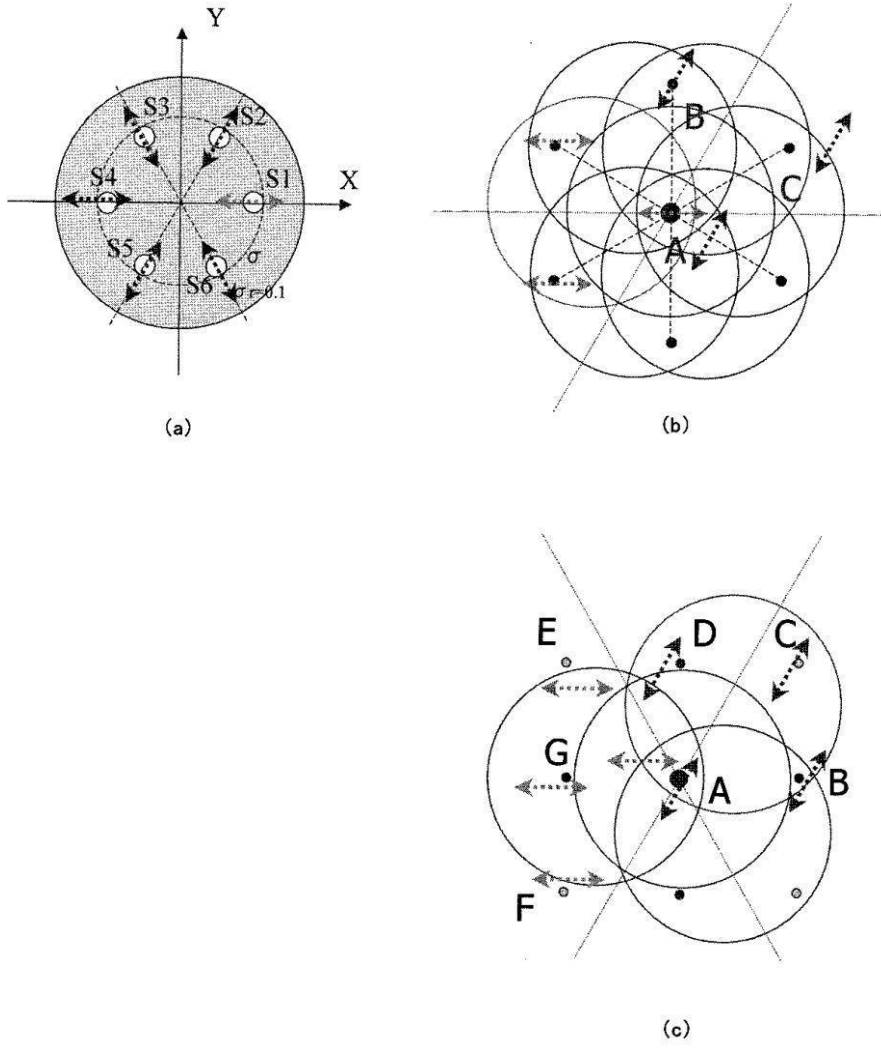


(b)

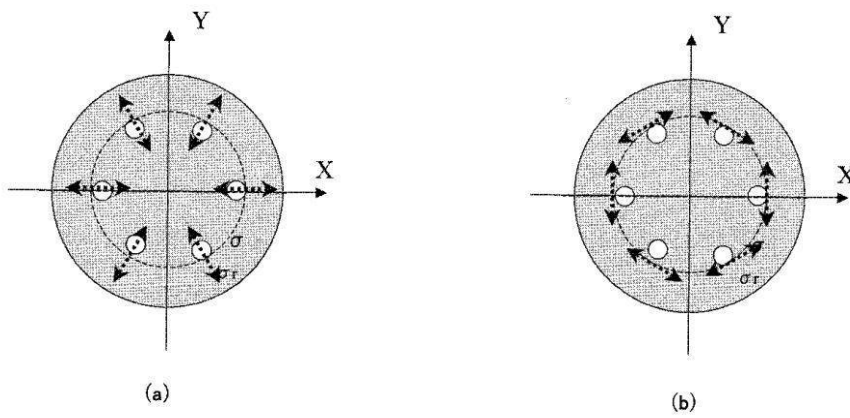


(c)

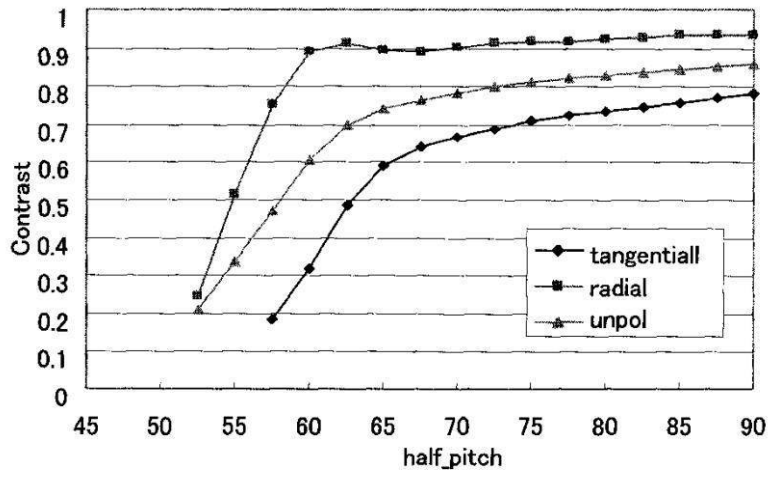
【図 16】



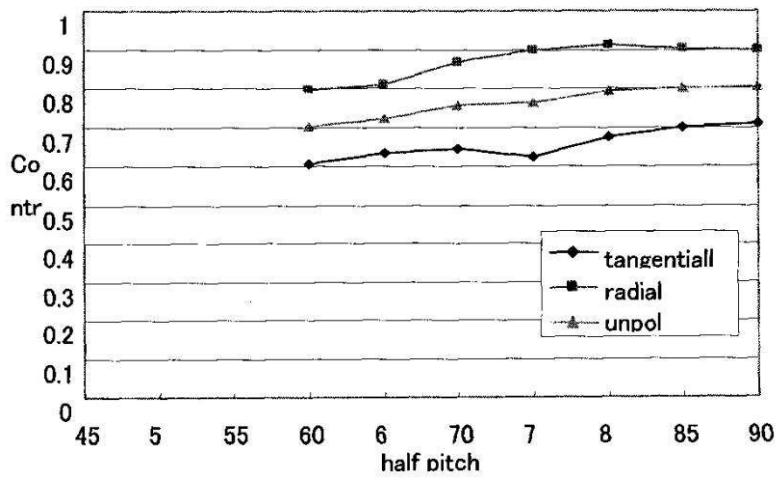
【図 17】



【 図 18 】



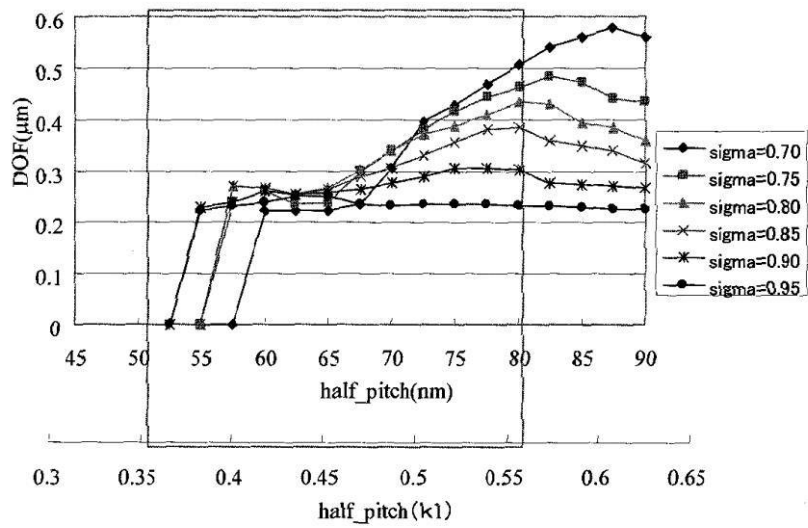
(a)



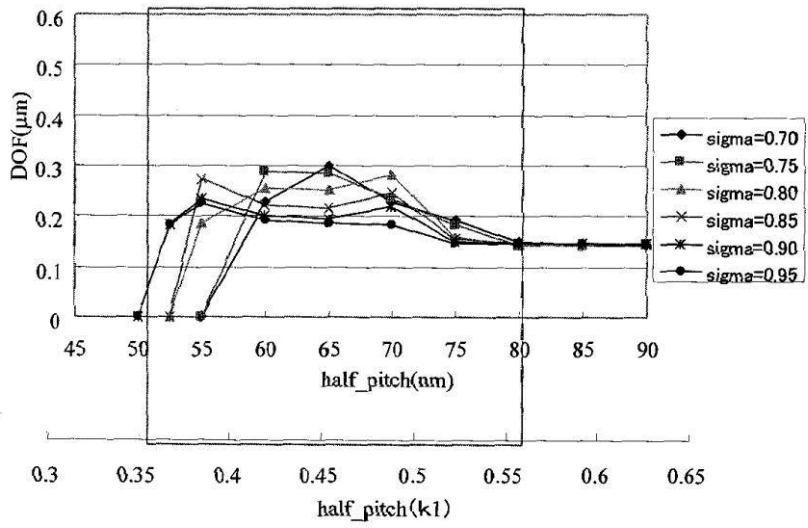
(b)



【図 19】

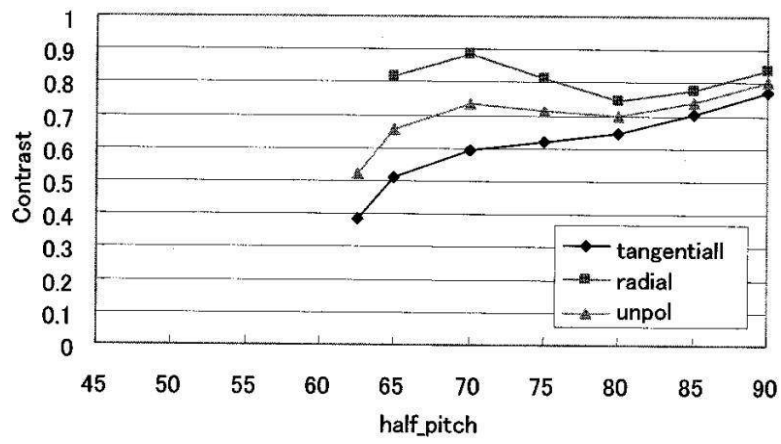


(a)

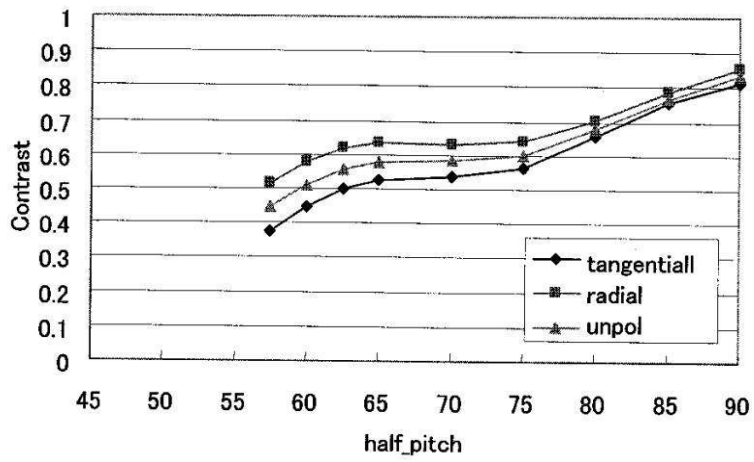


(b)

【図 20】

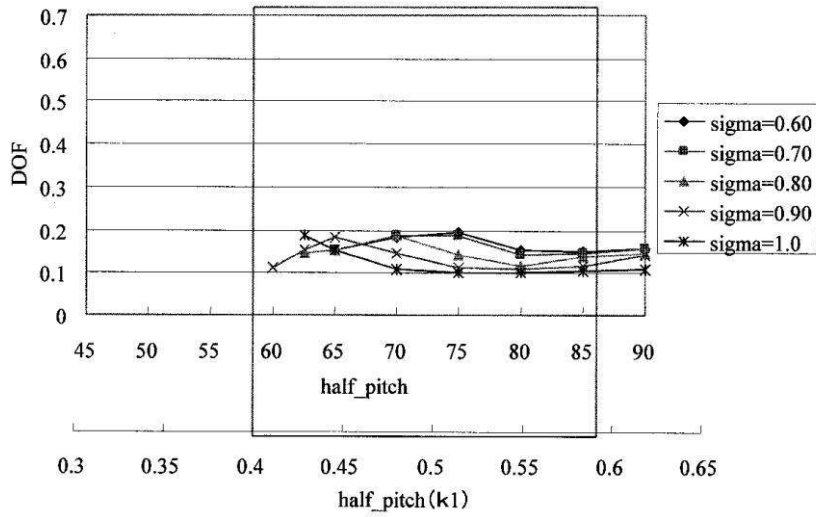


(a)

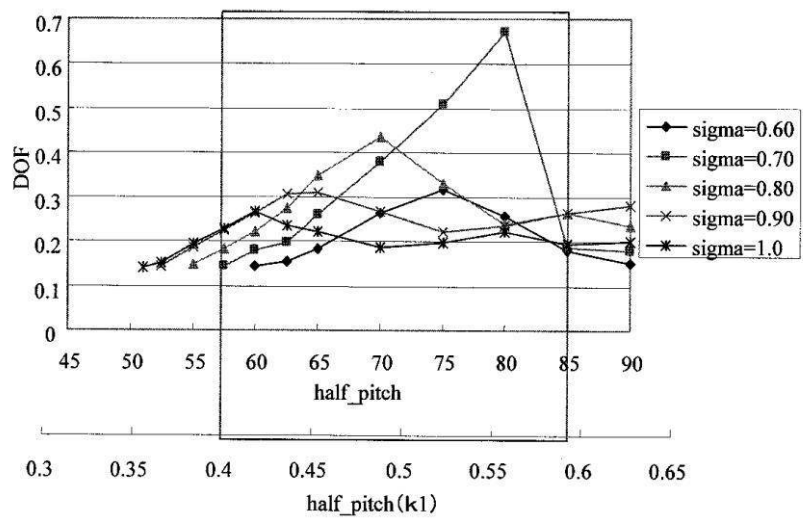


(b)

【 図 2 1 】

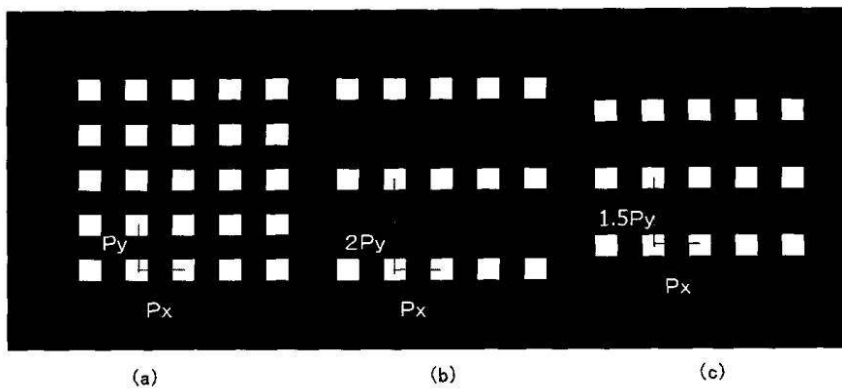


(a)

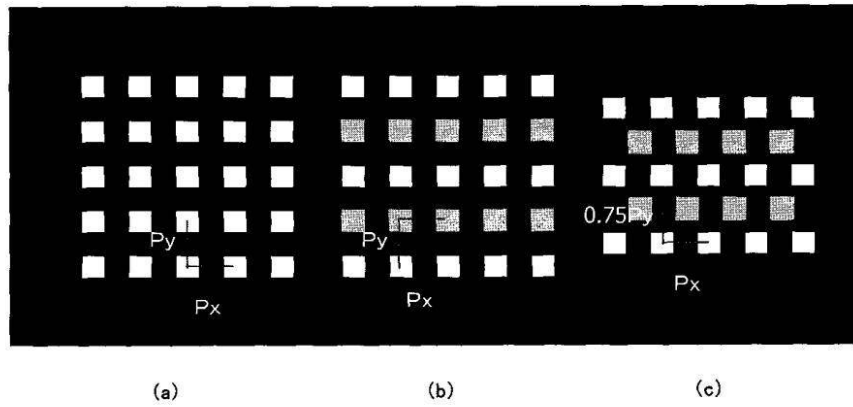


(b)

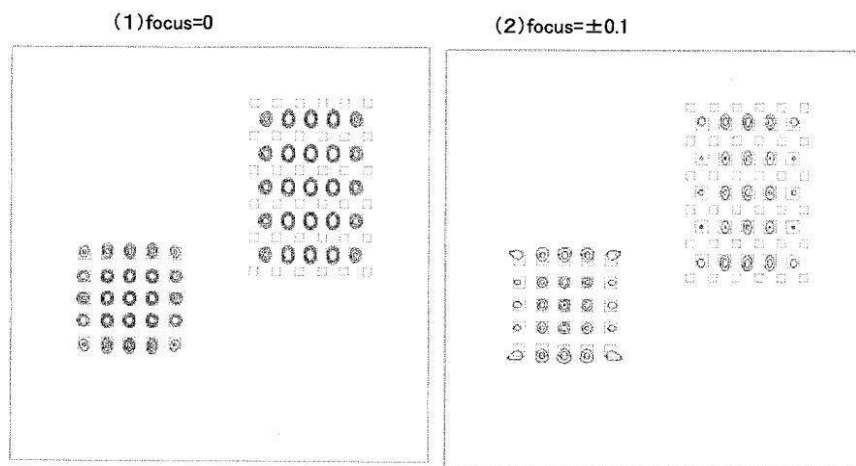
【 図 2 3 】



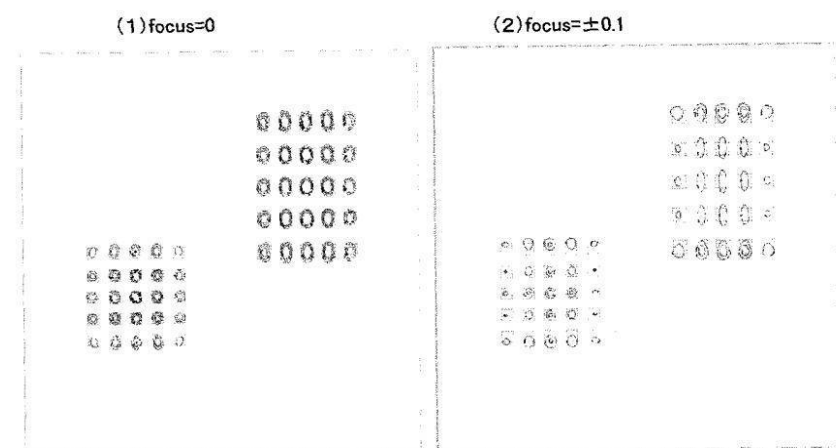
【図 2 4】



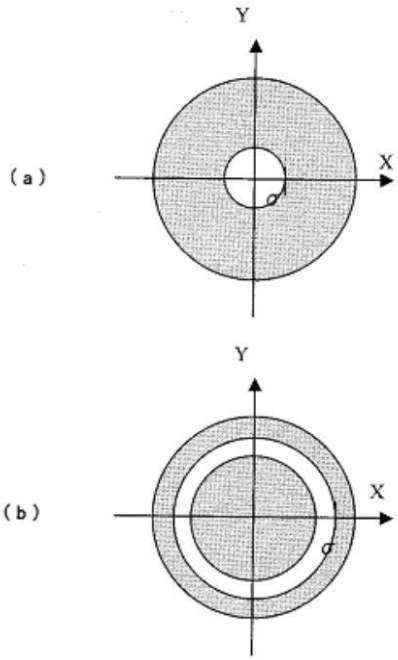
【図 2 5】



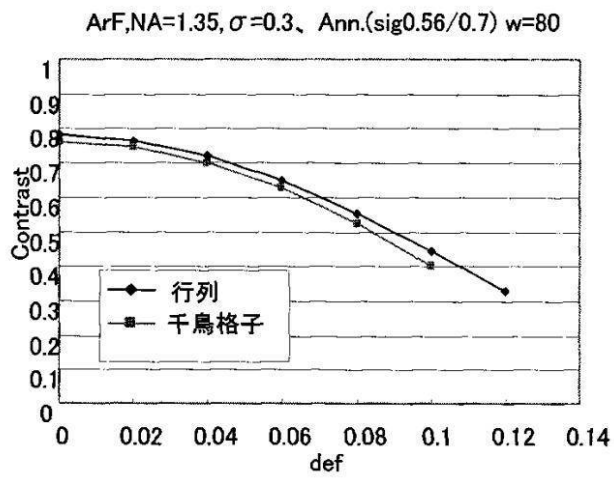
【図 2 6】



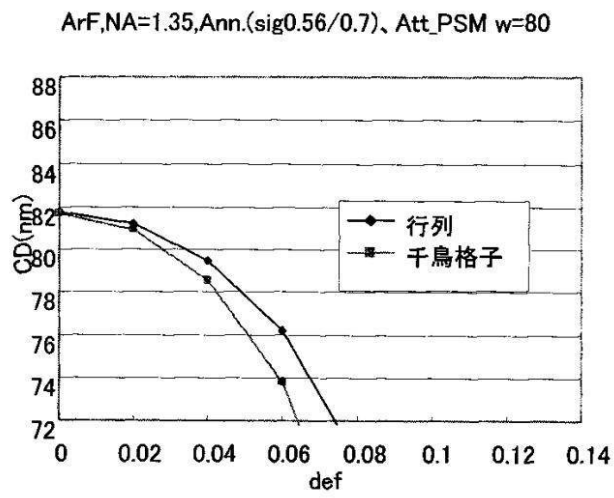
【 図 2 7 】



【 図 2 8 】



(a)



(b)

【図 30】

