

(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.CI.

H01L 21/027 (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)
G03F 1/08 (2006.01)

F 1

H01L 21/30 515D
G03F 7/20 521
H01L 21/30 514C
G03F 1/08 A

テーマコード(参考)

2H095
5FO46

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)

(22) 出願日

平成17年10月25日 (2005.10.25)

(71) 出願人 000001007

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

5FO46 AA25 BA03 CB05 CB13 CB23

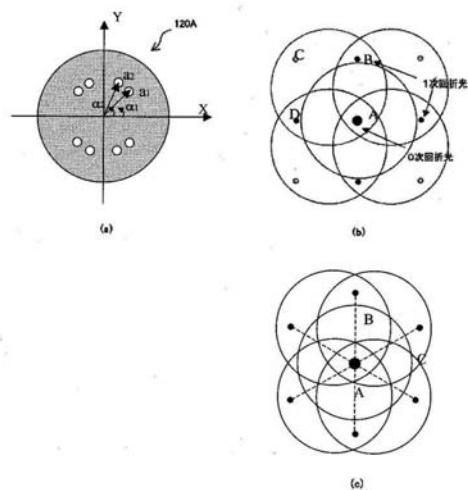
(54) 【発明の名称】露光方法

(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 λ とすると次式が成立し、

$$P_x o_i / 2 = (P_x i / 2) NA / \sin(i / n_i),$$

$$P_y o_i / 2 = (P_y i / 2) NA / \sin(j / n_j),$$

$$P_x o_j / 2 = (P_x j / 2) NA / \sin(i / n_i),$$

$$P_y o_j / 2 = (P_y j / 2) NA / \sin(j / n_j),$$

$$i = \tan^{-1}(P_x o_i / P_y o_i),$$

$$j = 2 \tan^{-1}(P_x o_j / (2 P_y o_j)),$$

$$a_i = 1 / (4(P_y o_i / 2)) / \sin(i / n_i),$$

$$a_j = 1 / (4(P_y o_j / 2)) / \sin(j / n_j),$$

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 $-i$ 、 $+i$ 、 $2 - i$ 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 $-j$ 、 $+j$ 、 $2 - j$ 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。

【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 $-i$ 、 $+i$ 、 $2 - i$ 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 λ とすると次式が成立し、

$$P_x o_1 / 2 = (P_x 1 / 2) NA / \sin(i / n_i),$$

$$P_y o_1 / 2 = (P_y 1 / 2) NA / \sin(j / n_j),$$

$$P_x o_2 / 2 = (P_x 2 / 2) NA / \sin(i / n_i),$$

$$P_y o_2 / 2 = (P_y 2 / 2) NA / \sin(j / n_j),$$

$$i = \tan^{-1}(P_x o_1 / P_y o_1),$$

$$j = 2 \tan^{-1}(P_x o_2 / (2 P_y o_2)),$$

$$a_1 = 1 / (4(P_y o_1 / 2)) / \sin(i / n_i),$$

$$a_2 = 1 / (4(P_y o_2 / 2)) / \sin(j / n_j),$$

は i_1 、 i_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

10

20

30

40

50

を介して被露光体に投影する露光方法であつて、

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 θ_1 が $-1^\circ, +1^\circ, -2^\circ, +2^\circ$ 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 θ_2 が $-2^\circ, +2^\circ, -2^\circ, +2^\circ$ 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 、行方向のピッチを P_y 、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 、行方向のピッチを P_y 、前記投影光学系の開口数を N_A 、前記照明光の波長を λ とすると次式が成立し、

$$\begin{aligned} P_x o_1 / 2 &= (P_x / 2) N_A / \lambda, \\ P_y o_1 / 2 &= (P_y / 2) N_A / \lambda, \\ P_x o_2 / 2 &= (P_x / 2) N_A / \lambda, \\ P_y o_2 / 2 &= (P_y / 2) N_A / \lambda, \\ \theta_1 &= \tan^{-1}(P_x o_1 / P_y o_1), \\ \theta_2 &= 2 \tan^{-1}(P_x o_2 / (2 P_y o_2)), \\ a_1 &= 1 / (4(P_y o_1 / 2)) / \sin(\theta_1), \\ a_2 &= 1 / (4(P_y o_2 / 2)) / \sin(\theta_2), \end{aligned}$$

10

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 4】

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ーマスクであり、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】

$$\begin{aligned} a_i, \theta_i, P_x o_i, P_x o_i, P_x o_j, P_x o_j &\text{が}, \\ 1 / (4(P_y o_i / 2)) / \sin(\theta_i) &< 1, 1 \leq n_i \text{ と}, \\ 1 / (2(P_y o_i / 2)) / \sin(\theta_i + \theta_i) / \cos(\theta_i) &> 1, \\ \theta_i &= \tan^{-1}(2 P_x o_i / P_y o_i) - \theta_i, 1 \leq n_i \text{ と}, \\ 1 / (2(P_y o_j / 2)) / (\sin(\tan^{-1}(1 / P_y o_j / e_j))) &> 1 \quad 30 \\ \dots \\ e_j &= 1 / (2(P_x o_j / 2)) - a_i \cos(\theta_i), 1 \leq j \leq n_j \text{ の 3 つの不等式を成立させることを特徴とする請求項 1 記載の露光方法。} \end{aligned}$$

30

【請求項 7】

$$\begin{aligned} a_j, \theta_j, P_x o_i, P_x o_i, P_x o_j, P_x o_j &\text{が}, \\ 1 / (4(P_y o_j / 2)) / \sin(\theta_j) &< 1, 1 \leq n_j \text{ と}, \\ 1 / (2(P_y o_j / 2)) / (\sin(\tan^{-1}(1 / (2(P_y o_j / 2)) / a_j)) &> 1, 1 \leq n_j \text{ と}, \\ 1 / (4(P_y o_i / 2)) / (\sin(\tan^{-1}(1 / (4(P_y o_i / 2)) / c_i))) &> 1, \\ c_i &= 1 / (2(P_x o_i / 2)) - a_j \cos(\theta_j), 1 \leq i \leq n_i \text{ の 3 つの不等式を成立させることを特徴とする請求項 1 記載の露光方法。} \quad 40 \end{aligned}$$

40

【請求項 8】

$$\begin{aligned} a_1, \theta_1, P_x o_1, P_x o_1, P_x o_2, P_x o_2 &\text{が}, \\ 1 / (4(P_y o_1 / 2)) / \sin(\theta_1) &< 1 \text{ と}, \\ 1 / (2(P_y o_1 / 2)) / \sin(\theta_1 + \theta_1) / \cos(\theta_1) &> 1, \\ \theta_1 &= \tan^{-1}(2 P_x o_1 / P_y o_1) - \theta_1 \text{ と}, \\ 1 / (2(P_y o_2 / 2)) / (\sin(\tan^{-1}(1 / (2(P_y o_2 / 2)) / e_2))) &> 1, \quad 50 \end{aligned}$$

50

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

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 、 θ_2 、 $Px o_1$ 、 $Px o_1$ 、 $Px o_2$ 、 $Px o_2$ が、

$1 / (4(Py o_2 / 2)) / \sin(\theta_2) < 1$ と、

$1 / (2(Py o_2 / 2)) / (\sin(\tan^{-1}(1 / (2(Py o_2 / 2))) / a_2) > 1$ と

$1 / (4(Py o_1 / 2)) / (\sin(\tan^{-1}(1 / (4(Py o_1 / 2))) / c_1) > 1$ 、

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

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PxとY方向のピッチPyを有し、前記千鳥格子状パターンはピッチPx b、Py 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。

$$Px / Py = Px b / Py b = d$$

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

$$Py b / Py = Px b / Px = c (4 + d^2) / 2d / (1 + c^2)$$

【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、正方形状のホールを行

40

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）。

【0004】

マスクの種類としてはバイナリーマスク、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。

【0005】

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2000-040656号公報

【特許文献2】特開2003-203850号公報

【特許文献3】特開2004-272228号公報

【特許文献4】特開2003-318100号公報

【特許文献5】特開2003-233165号公報

【非特許文献1】Hochul Kim et al., "Layer Specific Illumination Optimization by Monte Carlo Method," Optical Microlithography XVL, 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】

【0006】

投影露光装置の解像度Rは、光源の波長λ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。

【0007】

【数1】

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

【0008】

ここで、k1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k1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λ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0.1μm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。

【0009】

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需要がある。

【0010】

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】

【0011】

10

20

30

40

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λとするとき次式が成立し、 $P_{x_0i}/2 = (P_{x_i}/2)NA/\lambda$ 、 $1/i/n_i$ 、 $P_{y_0i}/2 = (P_{y_i}/2)NA/\lambda$ 、 $1/i/n_i$ 、 $P_{x_0j}/2 = (P_{x_j}/2)NA/\lambda$ 、 $1/j/n_j$ 、 $P_{y_0j}/2 = (P_{y_j}/2)NA/\lambda$ 、 $1/j/n_j$ 、 $i = \tan^{-1}(P_{x_0i}/P_{y_0i})$ 、 $1/i/n_i$ 、 $j = 2\tan^{-1}(P_{x_0j}/(2P_{y_0j}))$ 、 $1/j/n_j$ 、 $a_i = 1/(4(P_{y_0i}/2))/\sin(i)$ 、 $1/i/n_i$ 、 $a_j = 1/(4(P_{y_0j}/2))/\sin(j)$ 、 $1/j/n_j$ 、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 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。

【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 i 、 $-i$ 、 $+i$ 、 $2-i$ 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λとするとき次式が成立し、 $P_{x_01}/2 = (P_{x_1}/2)NA/\lambda$ 、 $P_{y_01}/2 = (P_{y_1}/2)NA/\lambda$ 、 $P_{x_02}/2 = (P_{x_2}/2)NA/\lambda$ 、 $P_{y_02}/2 = (P_{y_2}/2)NA/\lambda$ 、 $i_1 = \tan^{-1}(P_{x_01}/P_{y_01})$ 、 $i_2 = 2\tan^{-1}(P_{x_02}/(2P_{y_02}))$ 、 $a_1 = 1/(4(P_{y_01}/2))/\sin(i_1)$ 、 $a_2 = 1/(4(P_{y_02}/2))/\sin(i_2)$ 、 i_1 、 i_2 は a_1 、 a_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 i_1 が i_1 、 $-i_1$ 、 $+i_1$ 、 $2-i_1$ 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 i_2 が i_2 、 $-i_2$ 、 $+i_2$ 、 $2-i_2$ 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λとするとき次式が成立し、 $P_{x_01}/2 = (P_{x_1}/2)NA/\lambda$ 、 $P_{y_01}/2 = (P_{y_1}/2)NA/\lambda$ 、 $P_{x_02}/2 = (P_{x_2}/2)NA/\lambda$ 、 $P_{y_02}/2 = (P_{y_2}/2)NA/\lambda$ 、 $i_1 = \tan^{-1}(P_{x_01}/P_{y_01})$ 、 $i_2 = \tan^{-1}(P_{x_02}/P_{y_02})$ 、 $a_1 = 1/(4(P_{y_01}/2))/\sin(i_1)$ 、 $a_2 = 1/(4(P_{y_02}/2))/\sin(i_2)$ 、 i_1 、 i_2 は a_1 、 a_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。

10

20

30

40

50

$\tan^{-1}(P \times o_2 / (2Py_{o_2}))$ 、 $a_1 = 1 / (4(Py_{o_1} / 2)) / \sin(\alpha_1)$ 、 $a_2 = 1 / (4(Py_{o_2} / 2)) / \sin(\alpha_2)$ 、

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ヤ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F₂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。

40

【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。

【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レ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工の目レンズとして構成される。ハ工の目レンズは、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はハ工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、偏光制御手段と一緒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、=0.2以下の-、+、2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面を均一にケーラー照明によって照明する。

【0031】

10

20

30

40

50

マスキングブレード 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。マスキングブレード 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。マスキングブレード 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、上述のマスキ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】

10

結像レンズ 128 は、マスキングブレード 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】

20

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 MP₂₀ の例を示す。ここで、図 5 (a) はマスクパターン MP₂₀ の一例を示す平面図である。マスクパターン MP₂₀ の基本構成については後述するが、マスクパターン MP₂₀ は、行列状パターン MP₂₁ と千鳥格子状 MP₂₂ 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】

30

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】

40

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プトリック光学系、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（アッペ値）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】

50

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。

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ではフォトレジスト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XY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、レーザー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_{2,0}の基本構成としての基本パターンMP_{1,0}について説明する。ここで、図4は、マスクパターンMP_{1,0}の平面図である。同図に示すように、マスクパターンMP_{1,0}は、行列状パターンMP_{1,1}と千鳥格子状パターンMP_{1,2}の混在パターンである。行列状パターンMP_{1,1}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_{1,2}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_{1,1}は、ある1つのコンタクトホールCH₁の中心に8つのホールCH₂が配置された4角形のパターンT₁の集合体である。千鳥格子状パターンMP_{1,2}は、ある1つのコンタクトホールCH₁の中心に6つのコンタクトホールCH₂が配置された3角形のパターンT₂の集合体である。なお、コンタクトホールCH₁及びCH₂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はバイナリーマスクを示しており、マスクパターンMP_{1,0}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

40

【0040】

図5(a)は、マスクパターンMP_{1,1}及びMP_{1,2}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_{2,0}の平面図である。パターンMP_{2,1}においては、コンタクトホールCHの幅をW₁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_{2,2}においては、コンタクトホールCHの幅をW₂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_{2,2}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。

【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、 $W_1 = W_2 = 80$ (nm)、 $P_{x1} = P_{y1} = P_{x2} = P_{y2} = P = 160$ (nm)、パターンのハーフピッチは 80 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±10%まで、即ち、所定の幅80(nm)に対して下限を72(nm)、上限を88(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±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±0.1μm、幅0.2μm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。

【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(nm)では量産に必要な深度は0.2μm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。

【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_{2,0}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_{2,1}に対応し、コンタクトホール幅 $W_1 = 80$ (nm)、ピッチ $P_{x1} = P_{y1} = 160$ (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_{2,2}に対応し、コンタクトホール幅 $W_2 = 80$ (nm)、ピッチ $P_{x2} = P_{y2} = 160$ (nm)の回折光の振幅を示したものである。パターンMP_{2,1}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_{2,2}に対しては0次回折光の周囲に6点の1次回折光が6角形状に分布している。

【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(nm)の k_1 は0.56である。

【0047】

パターンMP_{1,0}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。

【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_{1,1}およびMP_{2,1}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

10

20

30

40

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。

【0049】

パターン MP_{2,1} 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 として規格化し、P_{x0}、P_{y0} で表すと次式のようになる。

【0050】

【数2】

$$P_{x0}/2 = (P_{x1}/2) \cdot NA/\lambda$$

10

【0051】

【数3】

$$P_{y0}/2 = (P_{y1}/2) \cdot NA/\lambda$$

【0052】

A C と A D のなす角を θ とすると次式が成立する。

【0053】

【数4】

$$AD = BC = 1/P_{x0}$$

20

【0054】

【数5】

$$AB = CD = 1/P_{y0}$$

【0055】

【数6】

$$\alpha = \tan^{-1} (P_{x0}/P_{y0})$$

30

【0056】

距離 a、b、c、d が等しくなる条件では、 $2 \sin(\theta) = 1/P_{y0}$ より次式が成立する。

【0057】

【数7】

$$a = b = c = d = 1 / (4(P_{y0}/2)) / \sin(\alpha)$$

40

【0058】

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 θ 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 -、+、+、2θ 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_{2,1} 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_{2,1}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。

【0059】

【数8】

$$a=b=c=d=1/(4(P_{yo_1}/2))/\sin(\alpha) < 1$$

【0060】

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。

【0061】

【数9】

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

【0062】

【数10】

$$AE = 2 / P_{yo_1} / \sin(\alpha + \beta)$$

10

20

30

40

【0063】

【数11】

$$\beta = \tan^{-1}(2P_{xo_1}/P_{yo_1}) - \alpha$$

【0064】

【数12】

$$OA = 1 / 2(P_{yo_1}/2) / \sin(\alpha + \beta) / \cos \beta > 1$$

【0065】

以上が4光束干渉の瞳の大きさの条件である。

【0066】

たとえば、パターンMP_{2,1}のピッチについて、P_{x1}とP_{y1}が等しいとき、Pと置くと

【0067】

【数13】

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

【0068】

【数14】

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

【0069】

【数15】

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

【0070】

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。

【0071】

【数16】

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

10

【0072】

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12より次式の通りである。

【0073】

【数17】

$$k_1 < 0.589$$

【0074】

数式16及び数式17から数式18が成立する。

20

【0075】

【数18】

$$0.354 < k_1 < 0.589$$

【0076】

数式15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。

【0077】

【数19】

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

30

【0078】

光源の中心位置を次のように設定する。

【0079】

【数20】

$$a = 0.354/k_1$$

【0080】

【数21】

40

$$\alpha = 45^\circ$$

【0081】

この場合、光源の方向は45°、135°、225°、315°となる。また、 $r = a + r$ となる。

【0082】

一方、混在パターンではMP_{2,1}を結像させるための光がMP_{2,2}のパターンも照明するから、MP_{2,2}の結像の様子について以下に述べる。

パターンMP_{2,1}のハーフピッチはPx₁/2とPy₁/2であったが、パターンMP_{2,2} 50

P_{x_2} のハーフピッチは $P_{x_2} / 2$ と $P_{y_2} / 2$ とする。

【0083】

このとき、図8(a)のように、パターンMP_{2,1}を4光束干渉させる条件でパターンMP_{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MP_{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MP_{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。

【0084】

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對して瞳半径が大きくなる。回折角の入射角度に對して瞳半径が図8(b)に示す点線のようになると高次光が瞳を入射して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α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。 $A_B = E_F = 1 / P_{y_02}$ 、Eから線ABまでの長さは $1 / P_{x_02}$ だから、

10

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。

【0085】

【数22】

$$e = 1 / (2(P_{x_02}/2)) - a \cos(\alpha)$$

20

【0086】

【数23】

$$f = 1 / (2(P_{y_02}/2)) / (\sin(\tan^{-1}(1 / (2(P_{y_02}/2) / e))) > 1$$

【0087】

従ってMP_{2,1}を4光束干渉させる条件でMP_{2,2}を解像させるためにはNA, 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12または数式23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CD深度が得られるようになる。

30

【0088】

この条件を満たすことによって、パターンMP_{2,1}が4光束干渉し、パターンMP_{2,2}が3光束干渉するように光が入射され、瞳の中心位置に對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對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12または数式23によって排除される。先ほどの例で、パターンMP_{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MP_{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。

40

【0089】

【数24】

$$0.354 < k_1 < 0.56$$

【0090】

数式15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。

【0091】

50

【数25】

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

【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_{2,2}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_{2,2}のX方向のピッチをPx₂、Y方向のピッチをPy₂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。Px₂、Py₂をNAとで規格化し、Px_{0,2}、Py_{0,2}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

20

【0093】

【数26】

$$AM=CL=1/Px_{0,2}$$

【0094】

【数27】

$$AB=CD=1/Py_{0,2}$$

【0095】

【数28】

$$\alpha=2\tan^{-1}(Px_{0,2}/(2Py_{0,2}))$$

30

【0096】

$\sin(\alpha) = 1/Py$ より次式が成立する。

【0097】

【数29】

$$a=b=c=1/(4(Py_{0,2}/2))/\sin(\alpha)$$

【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_{2,2}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_{2,2}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30】

$$a=b=c=1/(4(P_{yo_2}/2)) \sin(\alpha) < 1$$

【0100】

また、3光束が瞳に入射する最大半径は図10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10のように点O₁が中心となり、a=b=c=a'=b'=c'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。

【0101】

10

【数31】

$$d=e=1/(2(P_{yo_2}/2)) \sin(\tan^{-1}(1/(2(P_{yo_2}/2))/a)) > 1$$

【0102】

以上が、3光束干渉の瞳の大きさの条件である。

【0103】

例えば、パターンのピッチがP_{x2}=P_{y2}=Pのとき、パターンのハーフピッチをNAとで規格化してk₁で表すとa=1/(3.2k₁)、=53(deg)、光源の中心位置は1/(3.2k₁)となる。6重極照明の各光源の方向は53°、127°、180°、233°、307°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/(3.2k₁)<1より、次式で規定される。

【0104】

20

【数32】

$$k_1 > 0.3125$$

【0105】

【数33】

$$0.3125 < k_1 < 0.589$$

30

【0106】

瞳の大きさ(NA)が決まっているときはパターンのハーフピッチを数式33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(NA)を次式のように設定する。

【0107】

【数34】

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

【0108】

40

一方、混在パターンではMP₂₂を結像させるための光がMP₂₁のパターンも照明するから、MP₂₁の結像の様子について以下に述べる。

パターンMP₂₁のハーフピッチはP_{x1}/2とP_{y1}/2、パターンMP₂₂のハーフピッチはP_{x2}/2とP_{y2}/2である。

以下、図11(a)及び図11(b)を参照して、パターンMP₂₂を3光束干渉させる条件でパターンMP₂₁を照明すると図11(b)のように回折光A, B, E, Dの4光束干渉となる。図11(b)は、パターンMP₂₁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(a)は、パターンMP₂₂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11(a)と図11(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28及び29が成立する。

50

【 0 1 0 9 】

【 数 3 5 】

$$AE = BD = 1 / Px_1$$

【 0 1 1 0 】

【 数 3 6 】

$$AB = DE = 1 / Py_1$$

10

【 0 1 1 1 】

4光束が瞳に入射する最小半径は、図11(b)に示す円より大きい半径である。

【 0 1 1 2 】

【 数 3 7 】

$$c = 1 / (2Px_1 / 2) - a \cos(\alpha)$$

【 0 1 1 3 】

【 数 3 8 】

$$d = e = 1 / (4(Py_1 / 2)) \sin(\tan^{-1}(1 / (4(Py_1 / 2)) / c)) > 1$$

20

【 0 1 1 4 】

従ってMP_{2,2}を3光束干渉させる条件でMP_{2,1}を解像させるためにはNA、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30または数式38のどちらか大きい方できまり、上限は数式31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_{2,1}が4光束干渉し、パターンMP_{2,2}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38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_{2,1}のピッチについて、Px₁とPy₁が等しいとき、パターンMP_{2,2}のピッチについて、Px₂とPy₂が等しく、Px₁とPx₂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 / (3.2k₁)、= 2 tan⁻¹(0.5)より、数式37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41】

$$k_1 < 0.59$$

【0121】

従って、次式が成立する。

【0122】

【数42】

$$0.40 < k_1 < 0.59$$

10

【0123】

以上から、式14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式42で規定される。式15からNAの条件は次式で与えられる。

【0124】

【数43】

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

【0125】

更に、6重極照明において、軸上の光源がパターンMP_{2,1}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_{2,2}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_{2,1}を4光束干渉で解像するときはそうではない。図14(a)に示す6重極照明はパターンMP_{2,1}を図14(b)に示すように解像する。6重極照明の6つの光源S1乃至S6のうち軸上ではないS5の光源では瞳面上では、図14(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S1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

【0126】

4つの光源S2、S3、S5、S6は全て4光束干渉をしているが、軸上の光源S1及びS4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_{2,1}の解像性能が悪化する。軸上の光源S1及びS4を除くとパターンMP_{2,2}を3光束干渉で解像する場合でも、パターンMP_{2,1}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

【0127】

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 θ 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

【0128】

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15(a)乃至図15(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。

【0129】

図15(a)は、パターンMP_{2,1}及びMP_{2,2}を照明するラジアル偏光の4重極照明を示している。図15(b)は、パターンMP_{2,1}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15(c)は、パターンMP_{2,2}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。

20

【0132】

しかし、バイナリーマスクの場合、パターン MP_{2,2} 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ないので無偏光でもよい。

30

【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_{2,0} 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_{2,1} とパターン MP_{2,2} 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_{2,1} (行列状パターン) のピッチが n_i 個あり、前記 MP_{2,2} (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_{2,1} の X 方向のピッチを P_{X,i}, Y 方向のピッチを P_{Y,i} (1 i n_i)、パターン MP_{2,2} の X 方向のピッチを P_{X,j}, Y 方向のピッチを P_{Y,j} (1 j n_j) とする。その場合に、パターン MP_{2,1} とパターン MP_{2,2} 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 _i、- _i、+ _i、2 - _i の 4 方向に位置し、また、中心位置 a_j、列方向からの角度 _j、- _j、+ _j、2 - _j 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】

$$P_{X,0,i}/2 = (P_{X,i}/2) \text{NA} / \lambda, 1 \leq i \leq n_i$$

【0138】

【数45】

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

【0139】

【数46】

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

【0140】

【数47】

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

10

【0141】

【数48】

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

【0142】

【数49】

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

20

【0143】

【数50】

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

【0144】

【数51】

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

30

【0145】

3光束干渉または4光束干渉をさせるために、NA, 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。

a_i については数式52, 53, 54の3つの不等式を成立させる。

a_j については数式55, 56, 57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

【0146】

【数52】

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

【0147】

【数53】

$$1/(2(Pyo_i/2)) \times \sin(\alpha_i + \beta_i) \times \cos(\beta_i) > 1,$$

$$\beta_i = \tan^{-1}(2Pxo_i/Pyo_i) - \alpha_i, \quad 1 \leq i \leq n_i$$

【0148】

【数54】

$$1/(2(Pyo_j/2)) \times (\sin(\tan^{-1}(1/(2(Pyo_j/2))/e_j))) > 1,$$

$$e_j = 1/(2(Pxo_j/2)) - a_j \cos(\alpha_j), \quad 1 \leq j \leq n_j$$

10

【0149】

【数55】

$$1/(4(Pyo_j/2)) \times \sin(\alpha_j) < 1, \quad 1 \leq j \leq n_j$$

【0150】

【数56】

$$1/(2(Pyo_j/2)) \times (\sin(\tan^{-1}(1/(2(Pyo_j/2))/a_j)) > 1, \quad 1 \leq j \leq n_j$$

20

【0151】

【数57】

$$1/(4(Pyo_i/2)) \times (\sin(\tan^{-1}(1/(4(Pyo_i/2)/c_i))) > 1,$$

$$c_i = 1/(2(Pxo_i/2)) - a_i \cos(\alpha_i), \quad 1 \leq i \leq n_i$$

【0152】

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_{2,2}のピッチをパターンMP_{2,1}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_{2,1}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_{2,2}のピッチをPx b, Py bとすると次式のようになる。

【0153】

30

【数58】

$$Pxbo = (Px b / \lambda) NA$$

【0154】

【数59】

$$Pybo = (Py b / \lambda) NA$$

40

【0155】

ここで、dを以下のように定義する。

【0156】

【数60】

$$Pxo/Pyo = Pxbo / (Pybo) = d$$

【0157】

すると、次式が成立する。

【0158】

【数61】

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

【0159】

【数62】

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

【0160】

$a_1 = a_2 = a$ とするためには、以下のようにでなければならないから数式64が成立する 10
。

【0161】

【数63】

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

【0162】

【数64】

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

20

【0163】

また、Cを以下のように定義する。

【0164】

【数65】

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

【0165】

すると次式が成立する。

【0166】

【数66】

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

30

【0167】

$Px / Py = Px / (Pyb) = d = 1$ のとき、 $Pyb / Py = Px / Px = 0$ 。 884となるので、パターンMP₂₂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。

【0168】

孤立ホールパターンがあったときは図22(a)及び図22(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22(a)及び図22(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。

【0169】

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。

40

【0170】

50

例えば、図23(a)乃至図23(c)に示すように、ピッチが $P_y, 2P_y, 1.5P_y$ であるようなパターンを考える。図23(b)に示すピッチ $2P_y$ のパターンは図24(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24(a)、図24(b)は同ピッチにことができる。図23(c)に示すピッチ $1.5P_y$ 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24(c)に示すように、補助パターンは、ピッチ $2P_y$ 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 $1.5P_y$ 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 $0.75P_y$ となる。図23(a)に示すパターンと図24(a)に示すパターンは同じである。図24(b)(c)は、所望の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。

図24(a)に示す密集パターンと図24(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61が成立し、最適露光条件は次式で与えられる。

【0171】

【数67】

$$a_1 = 1 / (2P_yo) / \sin(\alpha_1)$$

10

20

【0172】

$P_x = P_y$ のとき a は次式で与えられる。

【0173】

【数68】

$$a_1 = 1 / (1.424 \cdot P_ybo)$$

【0174】

一方、図24(c)のパターンでは、最適露光条件は次式で与えられる。

30

【0175】

【数69】

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

【0176】

【数70】

$$a_2 = 1 / (1.5P_yo) / \sin(\alpha_2)$$

40

【0177】

$P_x = P_y$ のとき a は次式で与えられる。

【0178】

【数71】

$$a_2 = 1 / (1.385 \cdot P_ybo)$$

【0179】

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68と71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_{2_0}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_{2_1}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_{2_2}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_{2_2}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%以下に收まり、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_{2_0}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°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_{2_1}のX断面でのコントラストを示す。図18(b)はパターンMP_{2_2}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_{2_1}でもパターンMP_{2_2}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_{2_1}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_{2_2}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、 θ 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_{2_1}の焦点深度を示す。図19(b)はパターンMP_{2_2}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(μm)である。40

【0186】

上述したように、パターンMP_{2_1}及びMP_{2_2}のハーフピッチPx/2とPy/2が等しい場合、ハーフピッチをPx/2 = Py/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_{2_1}は4光束干渉し、パターンMP_{2_2}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_{2,1}及びMP_{2,2}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】

$$\begin{aligned} a &= 1/(2k_1)/\sqrt{2} = 1/(2.828k_1) \\ &= 1/(2.828NA \cdot (P/2)/\lambda) \end{aligned}$$
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 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 = 0.86 となる。3光束干渉では = 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_{2,1}及びMP_{2,2}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、 = 0.80 とすればよい。従って、4重極照明ではパターンMP_{2,2}に対してもパターンMP_{2,1}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_{2,1}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、 = 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_{2,1}のX断面でのコントラストを示す。図20(b)はパターンMP_{2,2}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_{2,1}でもパターンMP_{2,2}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_{2,2}ではどの方向からも一様であるが、パターンMP_{2,1}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_{2,1}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_{2,1}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

【0195】

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、 θ 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_{2,1}の焦点深度を示す。図21(b)はパターンMP_{2,2}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_{2,1}及びMP_{2,2}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。

【0196】

この条件でパターンMP_{2,1}は4光束干渉し、パターンMP_{2,2}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_{2,1}及びMP_{2,2}共にこの条件を満たすときにCD深度 $0.2 \mu\text{m}$ が得られるが、パターンMP_{2,1}の深度がパターンMP_{2,2}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_{2,2}に対しては最適な照明方法であるが、パターンMP_{2,1}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_{2,1}では深度が得られにくい。

【実施例3】

【0197】

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_{2,1}(行列状)パターンとMP_{2,2}(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 60 nm 、 $P_x = P_y = 120 \text{ nm}$ 、補助パターンの幅は $60 * 0.8 = 48 (\text{nm})$ とした。今までと同じ露光条件、波長ArF(193 nm)、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 $P_x/2 = P_y/2 = 60 \text{ nm}$ を k_1 であらわすと $k_1 = 0.42$ 、すなわち $P_{x0}/2 = P_{y0}/2 = 0.42$ 、 $P_{x0}/P_{y0} = d = 1$ となる。

【0198】

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。

【0199】

【数74】

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

【0200】

【数75】

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

【0201】

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。

【0202】

【数76】

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

【0203】

10

20

30

40

【数77】

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

【0204】

a_1 と a_2 、 α_1 と α_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、 α_1 と α_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 ± 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

【0205】

これらの条件で露光した結果を示す。図25は図24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26は図23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大きさのバイアス補正をしてある。

【0206】

図25, 26(1)はベストフォーカスでの結果、図25, 26(2)は $\pm 0.1 \mu m$ デフォーカスの結果を示す。図25と図26を比較すると、ベストフォーカスでは図25(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25(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ден (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

【0207】

次に、露光装置100を利用してデバイス製造方法を図29及び図30を参照して説明する。ここで、図29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

【0208】

図30は、図29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11（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（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14（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15（レジスト処理）ではウェハに感光材を塗布する。ステップ16（露光）では、露光装置100によってマスクパターンMP₂₀をウェハ170に露光する。ステップ17（現像）では露光したウェハ170を現像する。ステップ18（エッティング）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19（レジスト剥離）では、エッティ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170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MP₂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0.2μm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一形状の概略平面図である。

20

【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。

【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。

20

【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。

30

【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。

【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14(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15】図15(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15(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15(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16】図16(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16(b)は、図16(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16(c)は、図16(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17】図17(a)は、ラジアル偏光の一例を示す概略平面図である。図17(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18】図18(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18(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19】図19(a)は、図15(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19(b)は、図15(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20】図20(a)は、図16(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20(b)は、図16(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21】図21(a)は、図16(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21(b)は、図16(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22】図22(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22(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23】図23(a)乃至図23(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24】図24(a)は、図23(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24(b)は、図23(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24(c)は、図23(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25】図25は、図24(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24(a)は、ベストフォーカス時での2次元像、図24(b)は、 $\pm 0.1 \mu m$ デフォーカス時での2次元像である。

【図26】図26は、図23(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23(a)は、ベストフォー

10

20

30

40

50

カス時での2次元像、図23(b)は、 $\pm 0.1 \mu m$ デフォーカス時での2次元像である。

【図27】図27(a)は、円形の有効光源形状を示す概略平面図である。図27(b)は、輪帯の有効光源形状を示す概略平面図である。

【図28】図28(a)は、図27(b)に示す有効光源形状で図5(a)に示すコントラストホールパター¹⁰ンを照明した場合のデフォーカスとコントラストとの関係を示すグラフである。図28(b)は、図27(b)に示す有効光源形状で図5(a)に示すコントラストホールパター¹⁰ンを照明した場合のデフォーカスと線幅(CD)との関係を示すグラフである。

【図29】デバイス(IGCやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等)の製造を説明するためのフローチャートである。

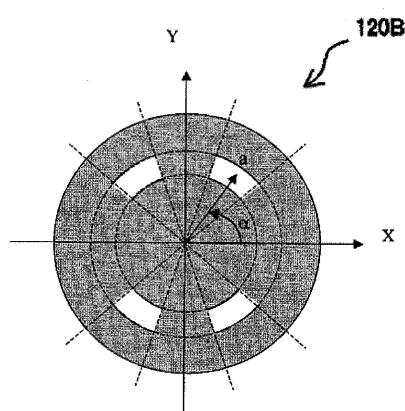
【図30】図29に示すステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

【符号の説明】

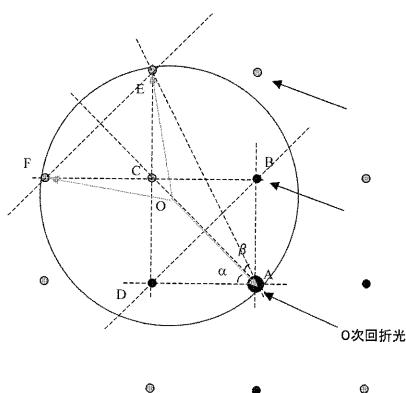
【0212】

1 0 0	露光装置
1 2 0	開口絞り
1 3 0	マスク
1 7 0	被露光体

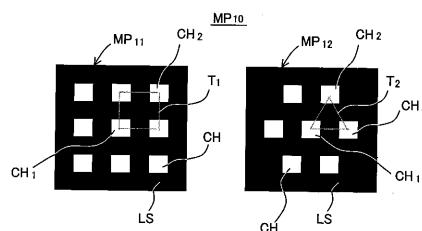
【図3】



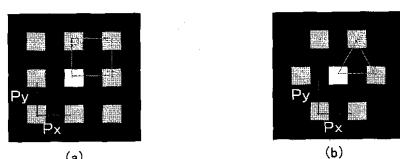
【図7】



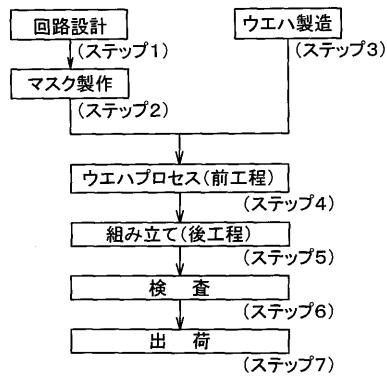
【図4】



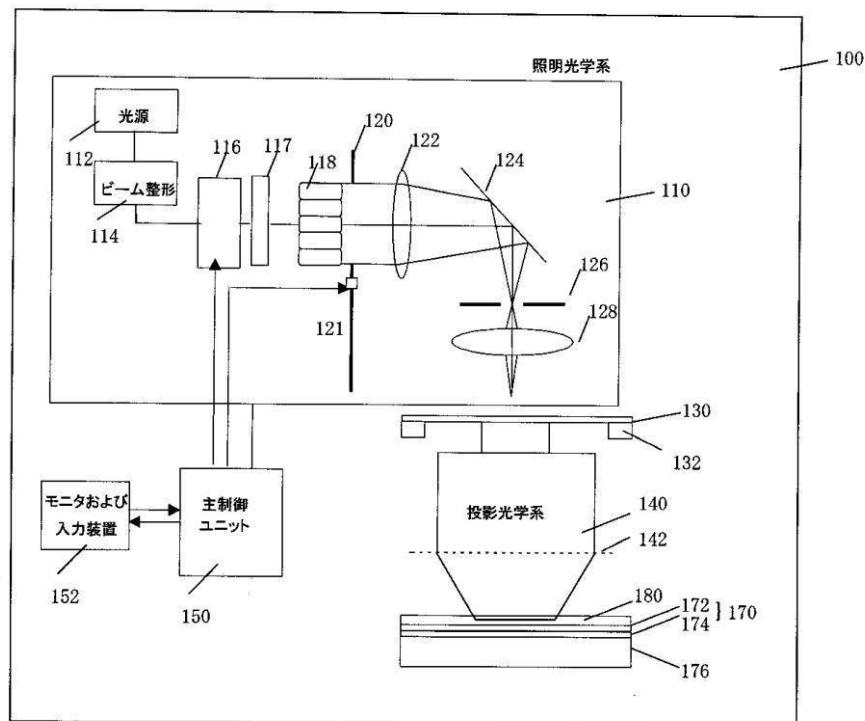
【図22】



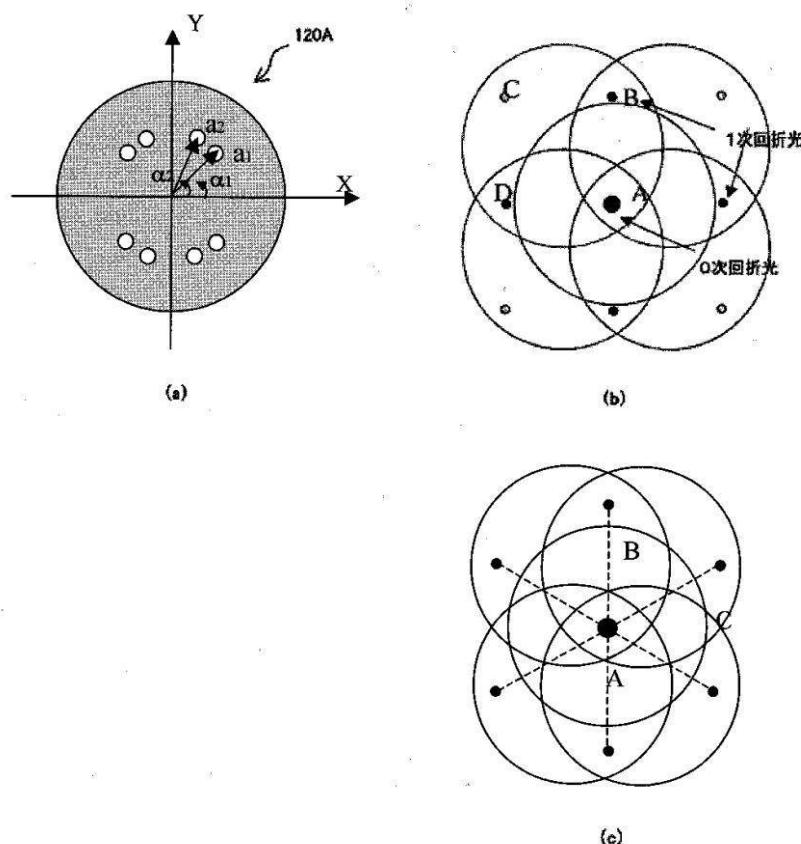
【図29】



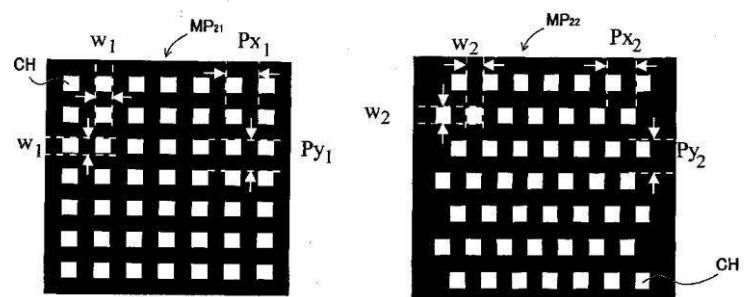
【図1】



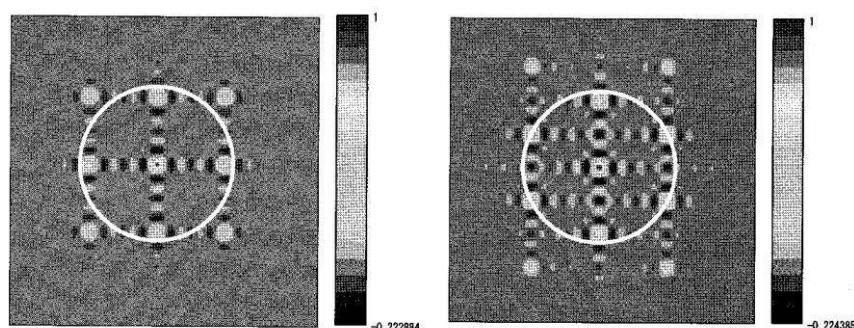
【図2】



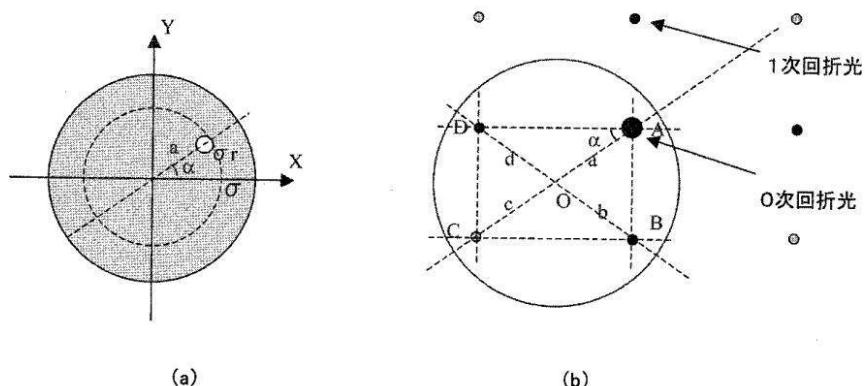
【図5】



(a)



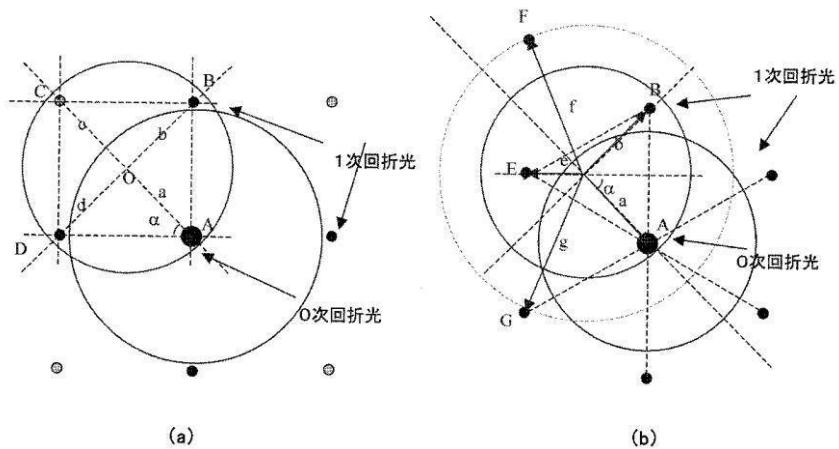
【図6】



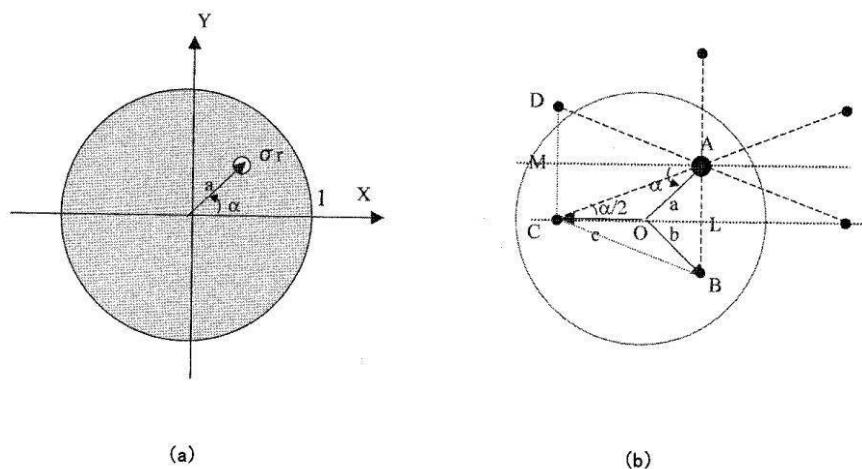
(a)

(b)

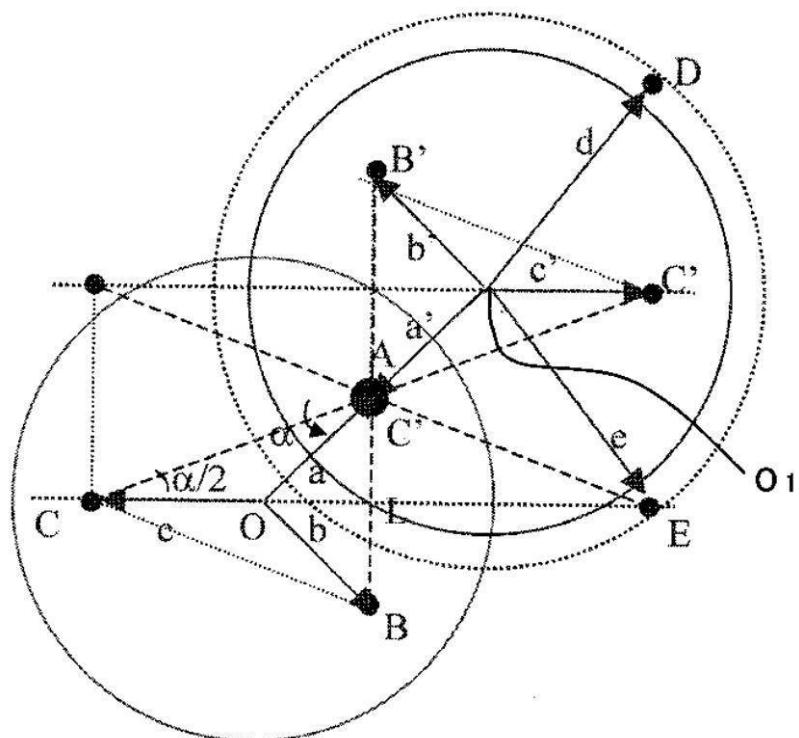
【図8】



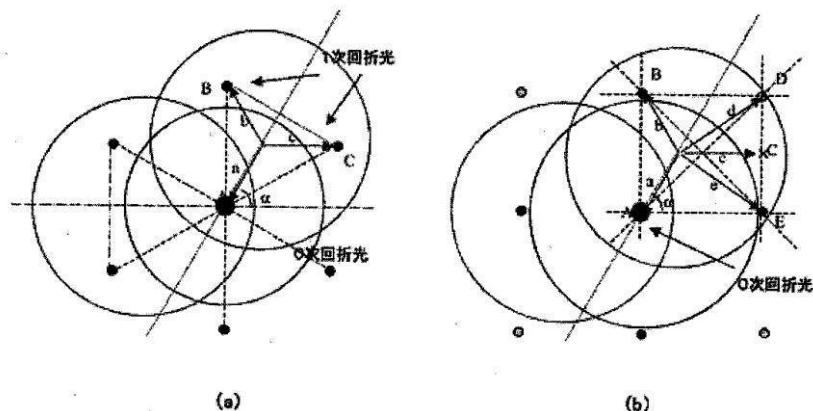
【図9】



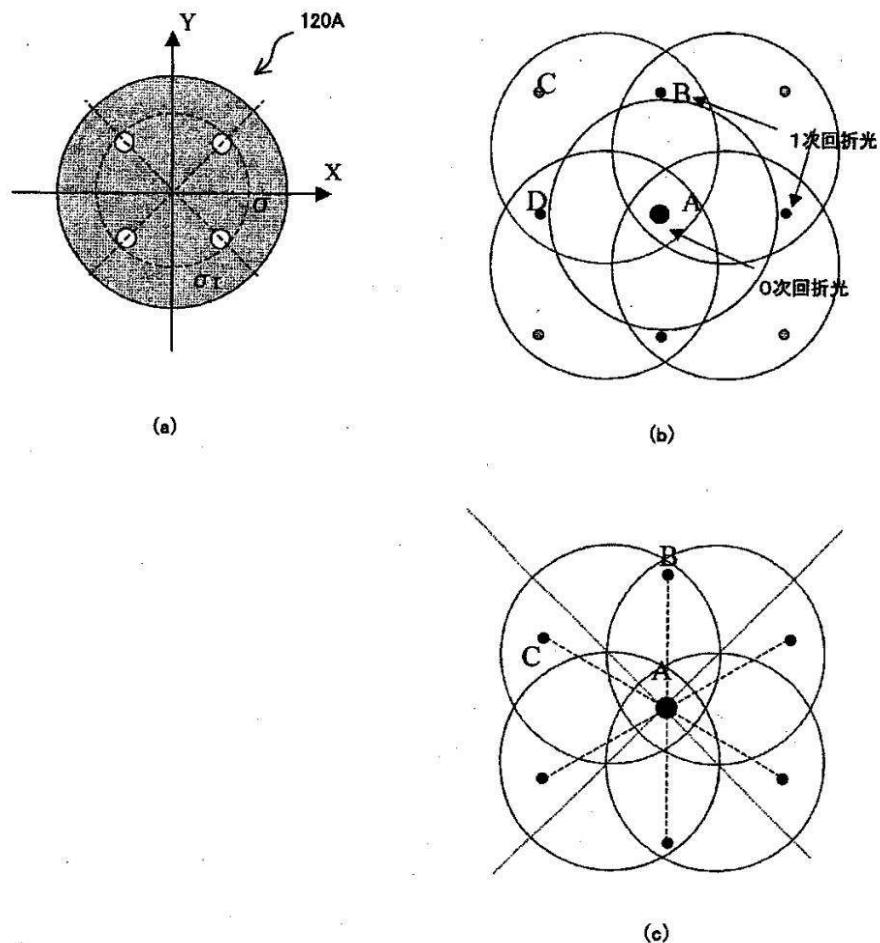
【図10】



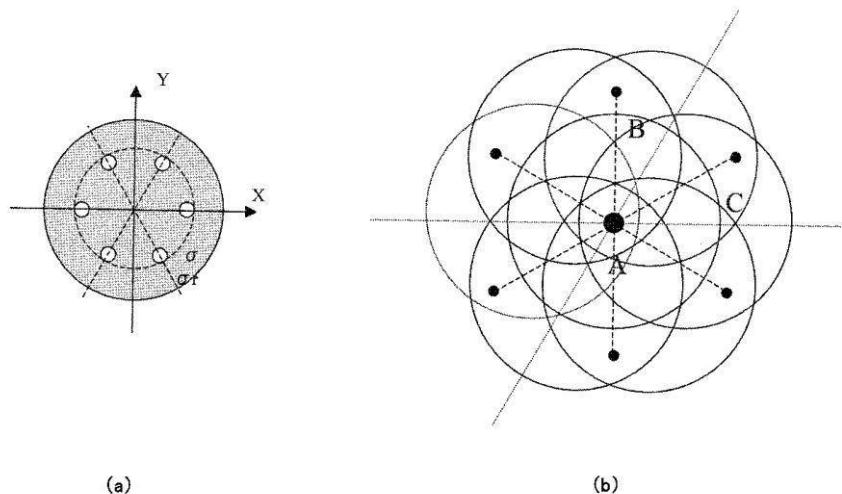
【図11】



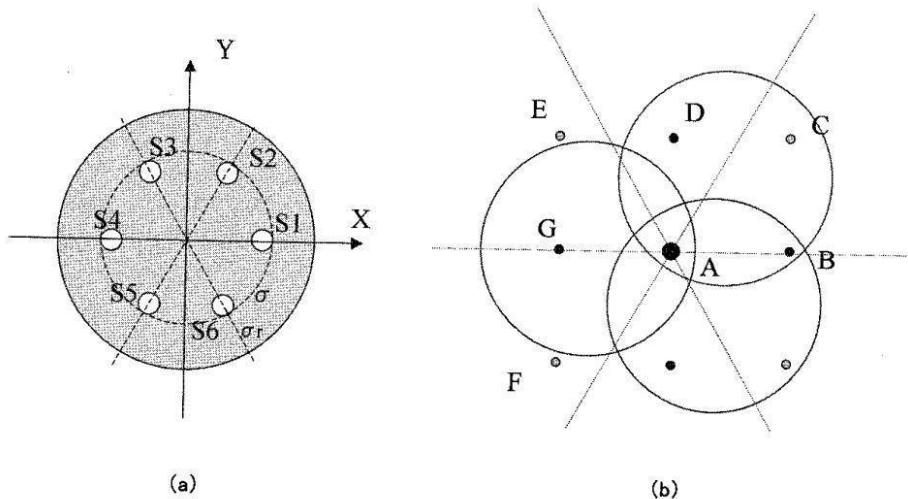
【図12】



【図13】



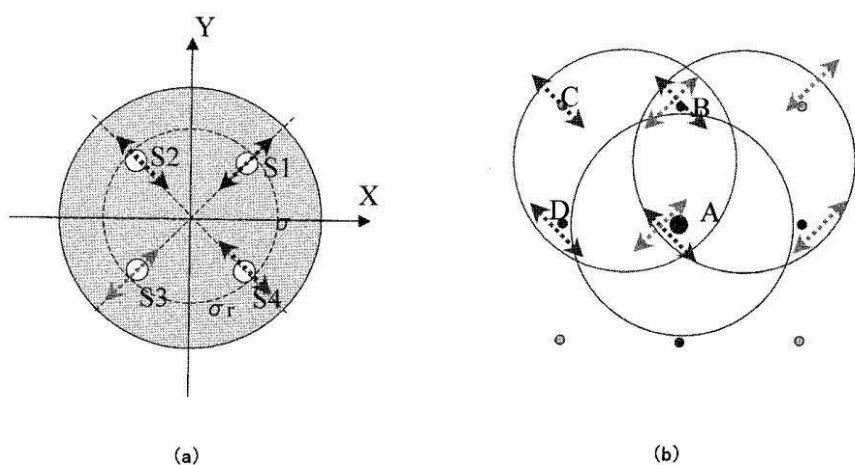
【図14】



(a)

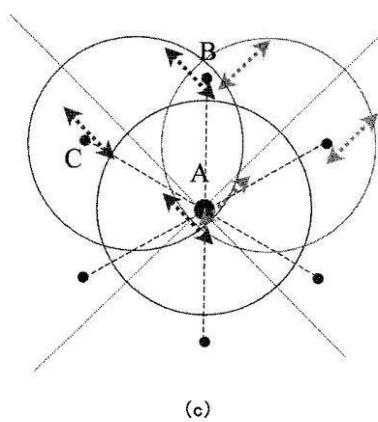
(b)

【図15】



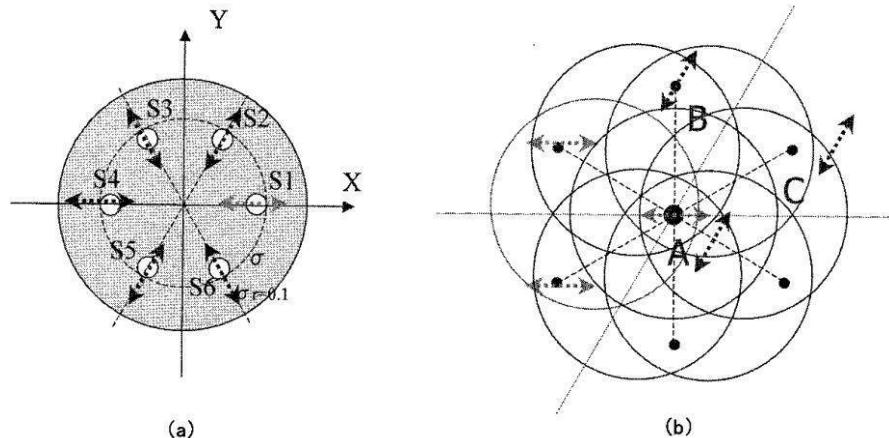
(a)

(b)

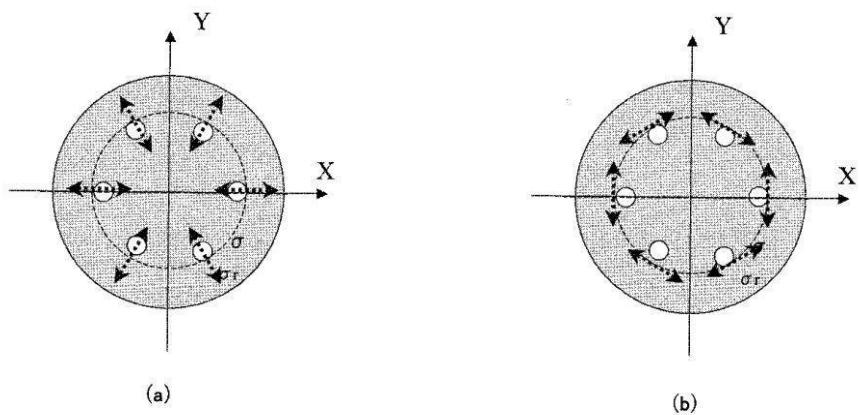


(c)

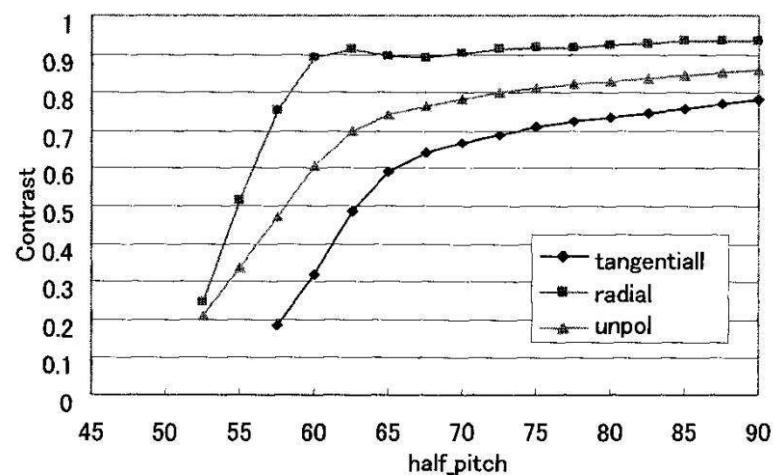
【図16】



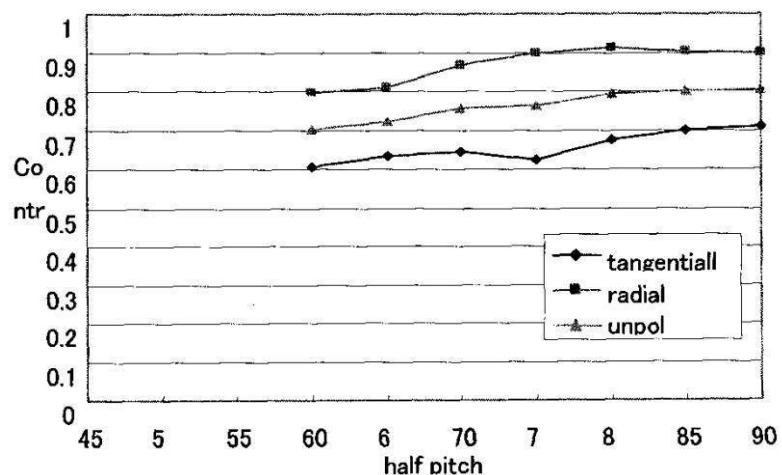
【図17】



【図18】

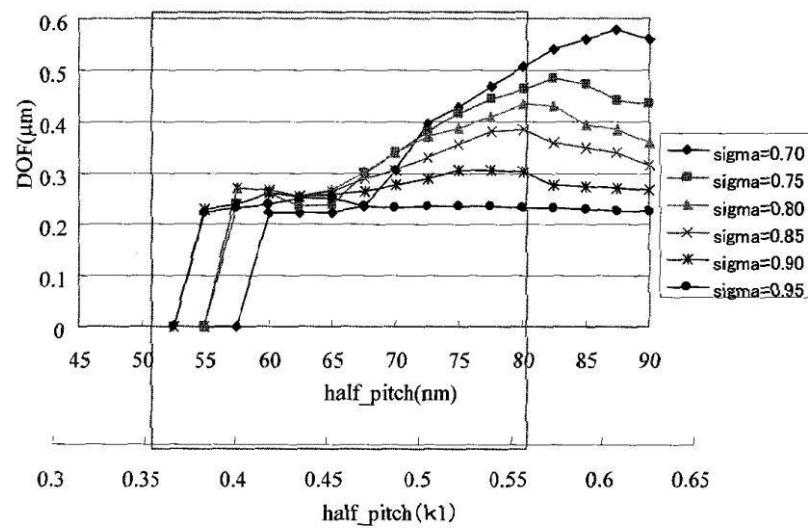


(a)

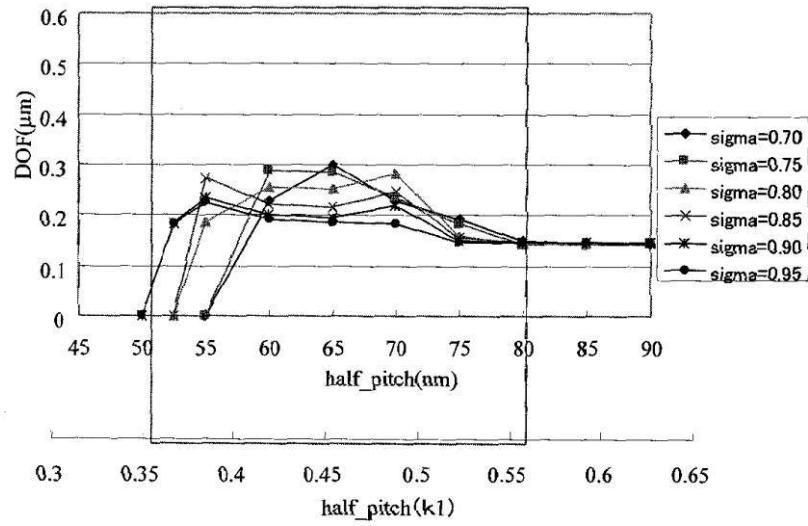


(b)

【図19】

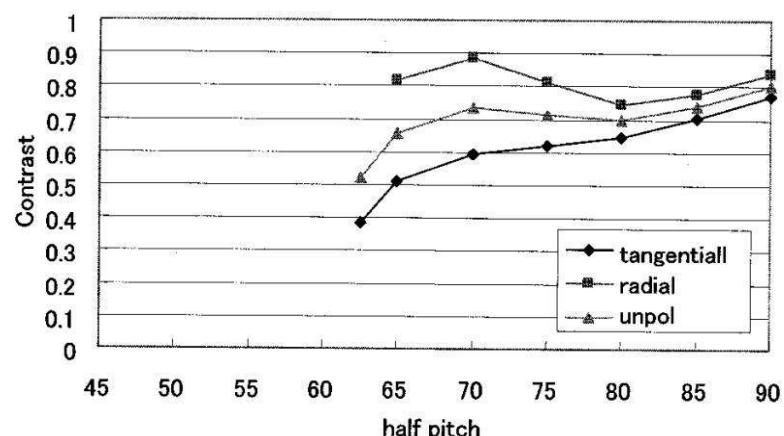


(a)

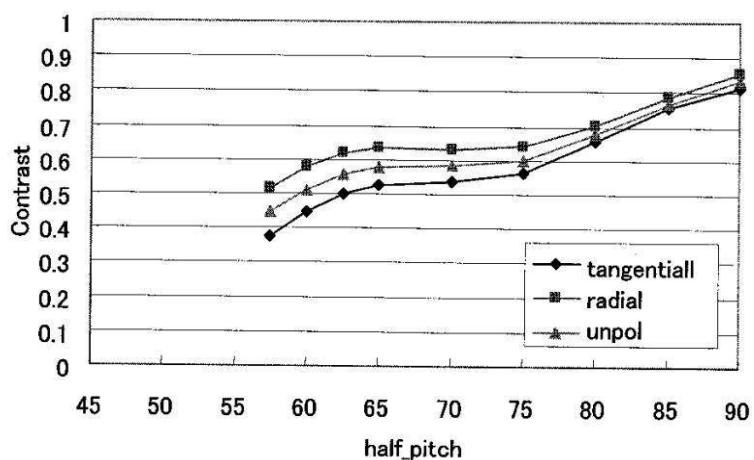


(b)

【図20】

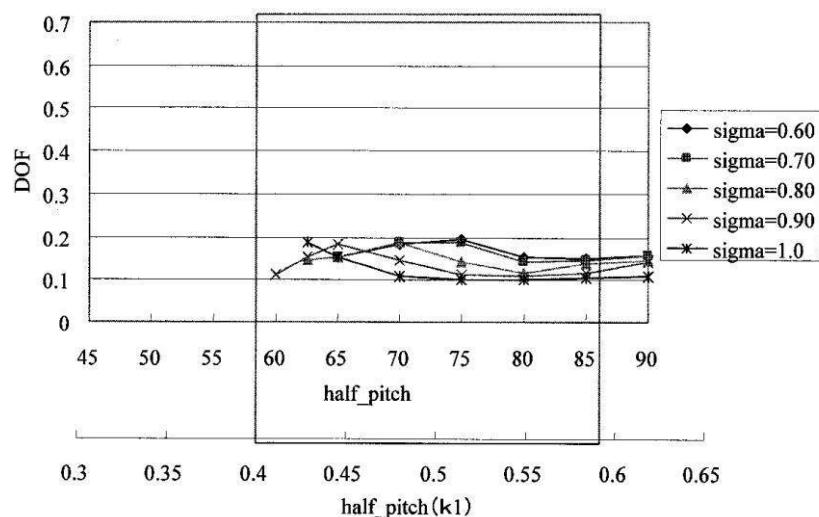


(a)

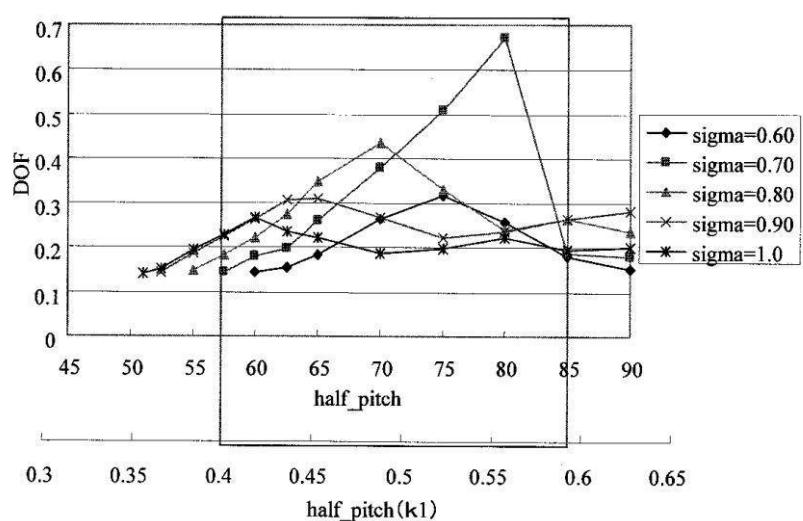


(b)

【図2-1】

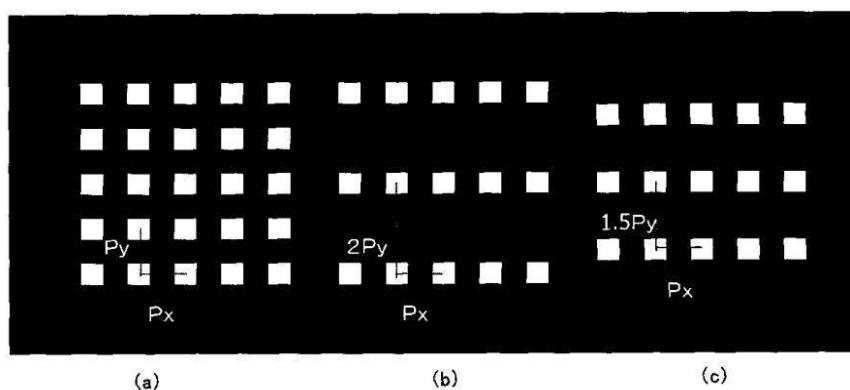


(a)



(b)

【図2-3】

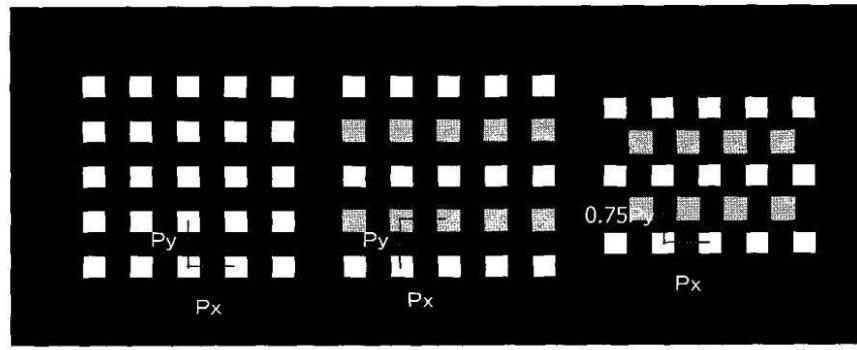


(a)

(b)

(c)

【図24】



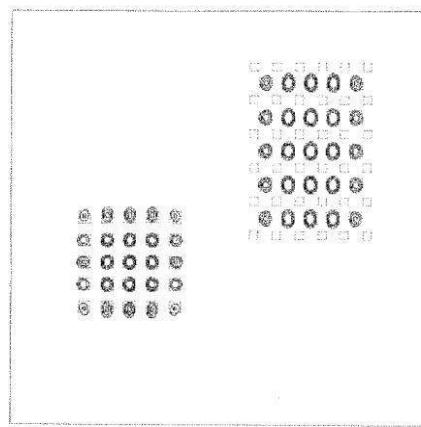
(a)

(b)

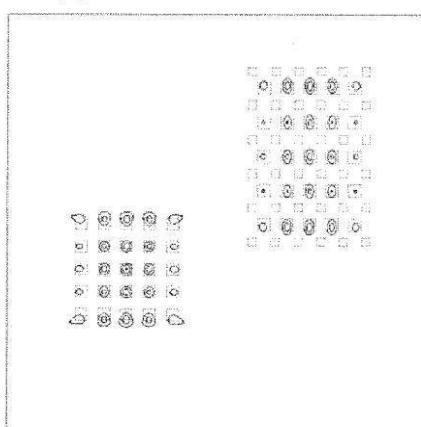
(c)

【図25】

(1) focus=0

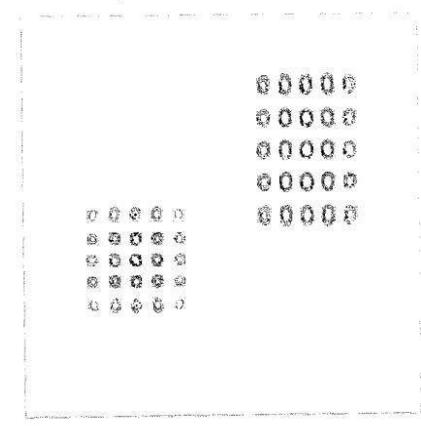


(2) focus=±0.1

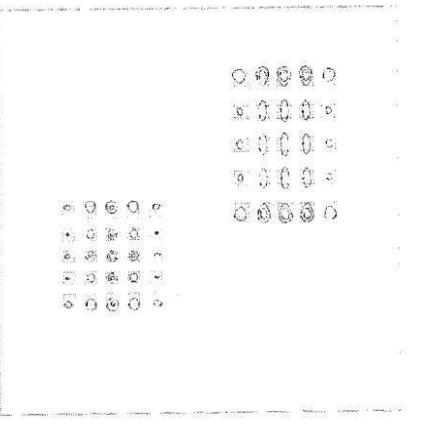


【図26】

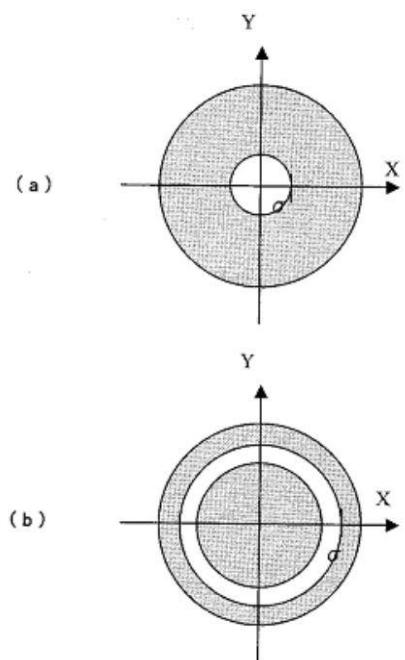
(1) focus=0



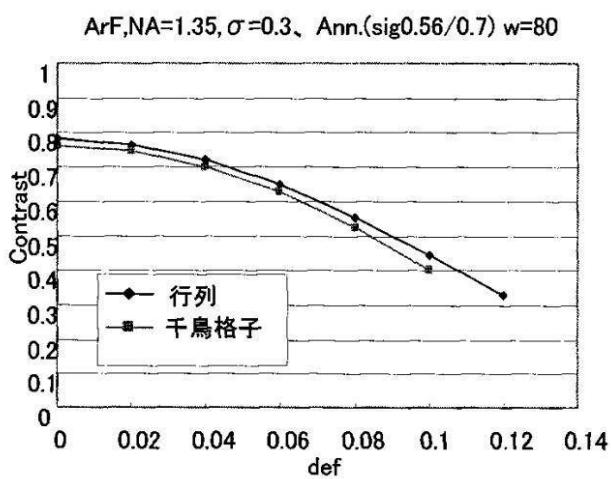
(2) focus=±0.1



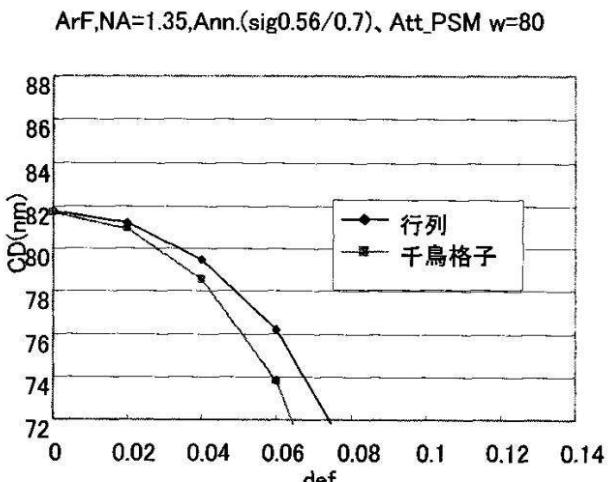
【図27】



【図28】



(a)



(b)

【図30】

