

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4750525号  
(P4750525)

(45) 発行日 平成23年8月17日(2011.8.17)

(24) 登録日 平成23年5月27日(2011.5.27)

(51) Int.Cl.		F I		
<b>HO 1 L</b>	<b>21/027</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 1 L	21/30 5 2 7
<b>GO 3 F</b>	<b>7/20</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 1 L	21/30 5 1 5 D
			HO 1 L	21/30 5 1 5 A
			GO 3 F	7/20 5 2 1

請求項の数 9 (全 48 頁)

(21) 出願番号	特願2005-300662 (P2005-300662)	(73) 特許権者	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
(22) 出願日	平成17年10月14日(2005.10.14)	(74) 代理人	100110412 弁理士 藤元 亮輔
(65) 公開番号	特開2007-109969 (P2007-109969A)	(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
(43) 公開日	平成19年4月26日(2007.4.26)	審査官	赤尾 隼人
審査請求日	平成20年10月14日(2008.10.14)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光方法及びデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンタクトホールパターンを有するマスクを照明光で照明し、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、

前記コンタクトホールパターンは、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であり、

前記照明光の有効光源は、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、前記コンタクトホールパターンの列方向からの角度が  $0$ 、 $2$ 、 $-2$ 、 $+2$ 、 $2 - 2$  の方向に位置し、前記周期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  $P_x$ 、前記列方向に対して垂直な行方向のピッチを  $P_y$ 、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、

$$P_x \lambda / 2 = (P_x / 2) NA \lambda / \sin(\theta_x)$$

$$P_y \lambda / 2 = (P_y / 2) NA \lambda / \sin(\theta_y)$$

$$\theta_x = \tan^{-1} (P_x \lambda / (2 P_y \lambda))$$

$$a = 1 / (4 (P_y \lambda / 2) / \sin(\theta_x))$$

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

【請求項2】

前記コンタクトホールパターンは列方向に周期的に配置された2個以上のホールがあり、前記行方向には  $P_y \lambda$  だけ離れた位置から  $P_x / 2$  だけ列方向にずれた位置にのみホー

ルがあることを特徴とする請求項 1 記載の露光方法。

【請求項 3】

前記コンタクトホールパターンは、所定のパターンと、当該所定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、前記所定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 記載の露光方法。

【請求項 4】

$$1 / (4 (P y o / 2)) / \sin (2 \quad ) > 1、$$

$$1 / (2 (P y o / 2)) / \sin ( \tan^{-1} (2 \sin (2 \quad)) ) < 1$$

が成立するであることを特徴とする請求項 1 記載の露光方法。

10

【請求項 5】

前記有効光源は 6 重極形状を有することを特徴とする請求項 1 記載の露光方法。

【請求項 6】

列方向に周期的なホールパターンのピッチを  $P_x$ 、行方向にはピッチが  $P_y$  の距離から  $P_x / 2$  ずれたホールパターンに関し、

$P_y$  と  $P_x$  は

$$P_y = 3 \cdot P_x / 2$$

の関係にあるホールパターンを形成することを特徴とする請求項 1 記載の露光方法

【請求項 7】

$$0.33 / (NA) < P_x / 2 < 0.67 / (NA)、$$

$$0.33 / (P_x / 2) < NA < 0.67 / (P_x / 2)$$

が成立することを特徴とする請求項 6 記載の露光方法。

20

【請求項 8】

$$P_o = (P_x / 2) NA / \quad、$$

$$a = 1 / (3 P_o)、$$

$$= / 6$$

が成立することを特徴とする請求項 6 記載の露光方法。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のうちいずれか一項記載の露光方法を用いて被露光体を露光するステップと、

30

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】

【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】

40

【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

50

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、正方形のホールを行列状(又は基板の目状)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、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)。

#### 【0004】

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

#### 【0005】

その他の従来技術としては特許文献1乃至4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

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】

#### 【0006】

千鳥格子状パターンは投影光学系の瞳の中心に0次回折光を設定するとその周り6方向に±1次回折光を生成する。2光束干渉はラインの解像には有効であるが、コンタクトホールの解像には3光束以上必要である。瞳に3光束を適当に配置すればレーリーの式の $k_1$ を小さくでき、微細化に寄与する。ここで、レーリーの式は、投影露光装置の解像度R、光源の波長 $\lambda$ 、投影光学系の開口数(NA)、現像プロセスなどによって定まるプロセス定数 $k_1$ を用いて次式で表現される。

30

#### 【0007】

#### 【数1】

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

#### 【0008】

千鳥格子状パターンは瞳に入射可能な1次回折光の数が多いために3光束の配置を形成しやすく、千鳥格子状パターン単体からなるコンタクトホールパターンは微細化を促進する可能性が高い。しかし、千鳥格子状パターンに最適な露光条件の解析は、3光束干渉に適した偏光条件も含めて、十分に進んでいないのが現状である。

40

#### 【0009】

本発明は、3光束結像における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】

#### 【0010】

本発明の一側面としての露光方法は、コンタクトホールパターンを有するマスクを照明光で照明し、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、前記コンタクトホールパターンは、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

50

子状パターンであり、前記照明光の有効光源は、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、前記コンタクトホールパターンの列方向からの角度が  $0$ 、 $2$ 、 $-2$ 、 $+2$ 、 $2$ 、 $-2$  の方向に位置し、前記周期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  $P_x$ 、前記列方向に対して垂直な行方向のピッチを  $P_y$ 、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、 $P_x \lambda / 2 = (P_x / 2) NA \lambda$ 、 $P_y \lambda / 2 = (P_y / 2) NA \lambda$ 、 $\theta = \tan^{-1} (P_x \lambda / (2 P_y \lambda))$ 、 $a = 1 / (4 (P_y \lambda / 2) / \sin(\theta))$  前記コンタクトホールパターンからの回折光のうち3光束を前記投影光学系の瞳内で干渉させることを特徴とする。

【0012】

上述の露光方法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

【0013】

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】

【0014】

本発明によれば、3光束結像における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。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

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。

【0016】

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130に形成されたパターンをウェハ170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。

30

【0017】

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。

【0018】

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。

40

【0019】

ビーム整形系114は、例えば、複数のシリンダカルレンズを備えるビームエクパンダ等を使用する。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（例えば、断面形状を長方形から正方形にするなど）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。

【0020】

50

照明光学系は、マスク130を照明する光学系である。本実施形態では、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、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。

【0021】

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。

10

【0022】

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。

【0023】

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。

20

【0024】

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。

【0025】

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、後述するように、投影光学系140の瞳内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。開口絞り120は、後述するように、有効光源の形状を制御する。

30

【0026】

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。

【0027】

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130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。

40

【0028】

50

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。

【0029】

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4(a)にマスクパターンの例を示す。ここで、図4(a)はマスク130に形成されるコンタクトホールパターン( X又は列方向に周期的に配置された2個以上のホールを有するパターン )の一例を示す平面図である。パターンの説明は後で詳しく述べる。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130のパターンをウェハ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。

10

【0030】

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130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。

20

【0031】

投影光学系140は、マスク130に形成されたパターン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140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レーザは主な流れのうちの1つである。

30

【0032】

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。

40

【0033】

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、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

50

図示しない鏡筒定盤上に設けられる。

【0034】

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。

【0035】

以下、図2(b)及び図4(a)を参照して、マスクパターンMP<sub>1</sub>の基本例について説明する。ここで、図2(b)は、マスクパターンMP<sub>1</sub>の基本例を示す平面図である。同図に示すように、マスクパターンMP<sub>1</sub>は、ある1つのコンタクトホールCH<sub>1</sub>の中心に6つのコンタクトホールCH<sub>2</sub>が配置された3角形のパターンTの集合体である。なお、図2(b)はバイナリマスクを示しており、マスクパターンMP<sub>1</sub>において、コンタクトホールCH<sub>1</sub>及びCH<sub>2</sub>は光透過部であり、LSは遮光部である。

10

【0036】

図4(a)は、かかるマスクパターンMP<sub>1</sub>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<sub>2</sub>の平面図である。コンタクトホールCHの幅をWとし、コンタクトホール間のX方向のピッチをP<sub>x</sub>、コンタクトホール間のY方向のピッチをP<sub>y</sub>とする。X又は横方向は列方向であり、Y又は縦方向は行方向であり、各列のコンタクトホール列はピッチP<sub>x</sub>の周期パターンである。各列のコンタクトホール列(1列の周期パターン)は、上下の列とピッチの半分(P<sub>x</sub>/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。

20

【0037】

バイナリマスクでは、コンタクトホールCH(白色部分)が透過率1の光透過部であり、コンタクトホール周囲(黒色部分)が透過率0の遮光部LSである。ハーフトーン位相シフトマスクではホールの部分(白色部分)が透過率1の光透過部であり、ホール周囲(黒色部分)の透過率6%程度の半遮光部、ホール周囲(黒色部分)はホールの部分(白色部分)と位相が180度反転している。位相シフトマスク(Alternated Phase Shift Mask)では、後述するように、このようなパターンは配置することができない。

【0038】

X方向のピッチP<sub>x</sub>、Y方向のピッチP<sub>y</sub>をNA(開口数)、で規格化して次式を満たすようにパターンのピッチP<sub>x</sub>、P<sub>y</sub>を決める。

30

【0039】

【数2】

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

【0040】

【数3】

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

40

【0041】

【数4】

$$1 / (4 (P_{y0}/2)) / \sin(2\alpha) > 1$$

【0042】

50

【数 5】

$$(1/2 (P y_0/2)) / \sin (\tan^{-1} (2 \sin (2 \alpha))) < 1$$

【0043】

特に、 $P y = 3 P x / 2$ となるように  $P y$  のピッチを決めると、パターンは、ある 1 つのコンタクトホールを中心に 6 つのホールがピッチ  $P x$  の距離に等しく配置され、正 3 角形のパターンの集合体となる。このとき、パターンのハーフピッチ ( $P x / 2$ ) は次式で規定する。

【0044】

【数 6】

$$0.33 \lambda / NA < P x / 2 < 0.67 \lambda / NA$$

【0045】

パターンのハーフピッチが決まっていれば、投影光学系の  $NA$  は、ピッチを  $P$  とすると次式で表現される。

【0046】

【数 7】

$$0.33 \lambda / (P / 2) < NA < 0.67 \lambda / (P / 2)$$

【0047】

孤立パターンを形成したいときは特許文献 3 及び 4 に開示される方法で、図 20 に示すように、所望のパターン (孤立パターン)  $CH$  の周囲に 6 つの補助パターン  $AP$  を配置する。 $S$  は補助パターン  $AP$  の一辺の長さで、 $W$  は所望のパターン  $CH$  の一辺の長さである。図 20 では所望のパターン  $CH$  を白く、補助パターン  $AP$  を灰色のパターンで示す。この場合、所望のパターン  $CH$  が解像され、かつ、補助パターン  $AP$  の解像が抑制されるように露光条件が設定される。横方向のピッチを  $P x$ 、縦方向のピッチを  $P y$  とすると、 $P x$  は数式 6 の範囲に設定する。即ち、パターンのハーフピッチ ( $P x / 2$ ) を  $k_1$  とすると、 $0.33 < k_1 < 0.67$  となるようにし、 $P y = 3 P x / 2$  に近いピッチにするホール間のピッチはすべて  $P x / 2$  で、正三角形の集合体となる。密集パターンと孤立パターンが混在しているときは、密集パターンの最小ピッチにあわせればよい。

【0048】

他のパターンがあって、補助パターン  $AP$  を 6 個配置できないときは、図 21 (a) 乃至 (d) に示すように、3 角形をなすように補助パターン  $AP$  を配置する。ここで、図 21 (a) 乃至図 21 (d) は孤立パターンに対して補助パターンを挿入する方法を説明するための概略平面図である。補助パターン  $AP$  の解像を抑制するために、補助パターン  $AP$  の幅  $S$  は所望のパターン  $CH$  のハーフピッチ  $P x / 2$  の 0.6 倍から 0.8 倍がよい。一般に、補助パターン  $AP$  の大きさは補助パターン  $AP$  のハーフピッチの 0.6 倍から 0.8 倍、または孤立コンタクトホール  $CH$  の大きさの 0.6 倍から 0.8 倍にする。孤立のホールパターンの大きさが異なるホールパターンを同時に露光する場合、補助パターンのハーフピッチは全て等しくする。

【0049】

次に、図 2 (a) を参照して、開口絞り 120 に適用可能な 6 重極照明用絞りとして構成された開口絞り 120A の概略平面図である。開口絞り 120A は、中心に、 $= 0.2$  以下の 6 つの円を有する。開口絞り 120A は、6 つの円 (6 重極形状) からなる透過率 1 の光透過部 121a (白色部分) と、透過率 0 の遮光部 121b (灰色部分) とを有する。図 2 (b) に示すコンタクトホールパターン  $MP$  に対して、図 2 (a) に示すように、光源の方向をパターンの方向に一致させる。このような 6 重極の 1 つの有効光源の中

10

20

30

40

50

心位置は次のようになる。

【0050】

【数8】

$$\alpha = \tan^{-1} (P_{x0} / (2P_{y0}))$$

【0051】

【数9】

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

10

【0052】

aは、各光源又は各極121aの中心位置は瞳中心からの距離であり、各光源に関して等しい。上述のように、各極121aの中心位置の方向は0、2、2、+2、2、2とする。特に、 $P_y = 3P_x / 2$ となるように $P_y$ のピッチを決めると、パターン的一半ピッチ( $P_x / 2$ )を $k_1$ であらわすと次式のようなになる。

【0053】

【数10】

$$P_x / 2 = k_1 (\lambda / NA) = P_{x0} / 2 (\lambda / NA)$$

20

【0054】

また、6重極の1つの有効光源の中心位置は、 $1 / (3 (P_{x0} / 2)) = 1 / (3k_1)$ の近辺とし、0度、60度、120度、180度、240度、300度の方向に配置する。このとき、あるコンタクトホールを中心にした周囲のコンタクトホールの方向と有効光源での6重極のそれぞれの6つの光源の方向は一致する。

【0055】

図2(a)では、6重極の各極121aの光源形状を円としたが、円弧状でも扇形でもよく、望ましくは6つの光源位置の中心に対して対称な形状、又は、X軸やY軸に対して、対称な形状とする。

30

【0056】

$P_y \sim 3P_x / 2$ のとき、図16(a)に示すように、6重極の1つの光源を、図2(b)に示す基本パターンのあるコンタクトホールを中心にした周囲のコンタクトホールの方向と一致させない場合数式8を満足していない。ここで、図16(a)は、開口絞り120に適用できない6重極照明用絞りとして構成された開口絞りの概略平面図である。図16(a)のように数式8を満足させないと結像性能が悪化する。なぜなら、微細なパターンでは、図16(b)に示すように、パターンからの0次回折光と1次回折光の2光束のみが干渉し2光束干渉となる。また、これよりパターンが大きくなると、図16(c)に示すように、パターンからの0次回折光と3つの1次回折光の4光束が干渉し4光束干渉となり、3光束干渉は実現されないからである。ここで、図16(b)は、光源の方向をパターンの方向と一致させない場合に2光束干渉が起こる例を示す概略平面図である。図16(c)は、光源の方向をパターンの方向と一致させない場合に4光束干渉が起こる例を示す概略平面図である。2光束干渉では1方向のコントラストのみは良いが直交する方向のコントラストが低く、図16(c)に示す瞳中心に対して非対称な4光束干渉では十分な焦点深度が得られないために、3光束干渉より結像性能が悪化する。

40

【0057】

以下、図17(a)及び図17(b)を参照して、位相シフトマスクはマスク130には好ましくない理由を説明する。ここで、図17(a)は、行列状のコンタクトホールパターン $MP_10$ を有する位相シフトマスクの概略平面図である。位相シフトマスクは、マ

50

スクの隣接する光透過部分の位相を  $180^\circ$  反転することによって 0 次回折光を相殺し、2 つの  $\pm 1$  次回折光を干渉させて結像する。かかる技術によれば、上式の  $k_1$  を実質的にラインアンドスペース (L & S) の 1 方向の解像に関しては  $0.25$  にすることができるので、解像度  $R$  を改善してウェハに  $0.1 \mu\text{m}$  以下のパターンを形成することができる。

【0058】

パターン  $MP_{10}$  は、クロムなどの遮光部  $LS$  の中に、隣接する光透過部分の位相を  $180^\circ$  反転した光透過部としてのコンタクトホール  $CH_{10}$  及び  $CH_{11}$  が、幅  $W$  (nm)、ピッチ  $P$  (nm) で周期的に配列している。図 17 (a) は、遮光部  $LS$  を黒色部分、光透過部  $CH_{10}$  及び  $CH_{11}$  を白と灰色で表しており、灰色部  $CH_{11}$  は白部  $CH_{10}$  と位相を  $180^\circ$  反転している。

10

【0059】

マスクパターン  $MP_{10}$  の回折光の様子を図 17 (b) に示す。同図において、黒丸の 1 次回折光が発生する。バイナリーマスクの場合は白丸のような回折光となるが、位相シフトマスクの場合、0 次回折光が消失し、1 次回折光はバイナリーマスクの半分のピッチとなる。ハーフピッチの長さを  $k_1$  で表すと、 $k_1 = 0.25 \sim 0.358$  までのパターンは瞳を通過するが、これよりハーフピッチの長さが小さいと瞳を通過しない (特許文献 1)。解像できるのは、ラインアンドスペース (L & S) の限界線幅の 2 倍の微細パターンまでである。

【0060】

ArF エキシマレーザーと  $NA 1.35$  の液浸露光装置を用いて、図 18 (a) に示す  $= 0.2$  の円形の有効光源形状で図 17 (a) に示す位相シフトマスクを照明する場合を考える。この場合、ハーフピッチの長さが変化するに従って、コントラストは図 19 (a) に示すように変化し、焦点深度は図 19 (b) に示すように変化する。ハーフピッチの長さは  $k_1$ 、焦点深度は  $\mu\text{m}$  で表している。焦点深度はコントラスト 40% 以上を得、かつ、コンタクトホールの幅が所定の幅  $W$  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。

20

【0061】

このとき、コントラストが 40% 以上得られるのは、ハーフピッチが  $k_1 > 0.37$  であり、これより大きいハーフピッチではコントラストがよい。しかし、焦点深度は  $0.15 \mu\text{m}$  から  $0.2 \mu\text{m}$  程度と量産のプロセスには厳しい。焦点深度が量産のプロセスで必要とされる  $0.3 \mu\text{m}$  以上が得られるのはハーフピッチが  $k_1 = 0.50$  以上からである。このように 4 光束干渉で結像した像はコントラストが高いが、実用的な焦点深度が得られるのはハーフピッチが  $k_1 = 0.50$  以上からである。

30

【0062】

一方、L & S パターンの解像度と同等のコンタクトホール列の解像度を得るために L & S の限界線幅での縦線と横線の重ねあわせとして、コンタクトホール列の解像度を  $k_1 = 0.25$  まで微細化させる方法がある (例えば、特許文献 1 及び 2 参照。) これは、縦線を二光束干渉によって形成し、また、横線を二光束干渉によって形成し、これらを重ね合わせた格子状のパターンをコンタクトホール列とするものである。しかしながら、縦線と横線の重ねあわせではコントラストは最大でも  $0.5$  しか出ないため、露光量裕度が得にくく実用的ではない。

40

【0063】

本実施例で提案する 3 光束干渉はかかる問題を解決するものである。以下、3 光束干渉でコンタクトホールパターンを解像する方法について説明する。図 4 (a) のように千鳥格子状に並べたコンタクトホールパターン (千鳥格子状パターン)  $MP_2$  の回折光が飛ぶ様子を図 4 (b) に示す。図 4 (b) に示すように、0 次回折光の周囲には 6 点の 1 次回折光が分布している。

【0064】

図 4 (b) はバイナリーマスクからの回折光分布で、図 4 (a) に示すコンタクトホールパターン  $MP_2$ 、コンタクトホール幅  $W = 80$  (nm)、ピッチ  $P_x = P_y = 160$  (

50

nm)の回折光の振幅を示したものである。但し、ハーフトーンマスクでも回折光の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4(b)に投影光学系の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。

【0065】

ここで、三光束が瞳に入射するように瞳をずらすと図5に示すようになる。光が3方向に傾いて入射するようにすると図5に示すように対称に三光束ずつ入射し、それぞれから得られる像をインコヒーレント加算するとコンタクトホールが高コントラストで得られる。このためには有効光源を図2(a)に示すような6重極照明にすると三光束干渉が6方向でなされるようになる。0次回折光Aの周囲に6点の1次回折光B乃至Gが分布している。1つ目の瞳では回折光ABCが、2つ目の瞳では回折光ACDが、3つ目の瞳では回折光ADEが、4つ目の瞳では回折光AEFが、5つ目の瞳では回折光AFGが、6つ目の瞳では回折光ABGがそれぞれ三光束干渉する。

10

【0066】

焦点深度を得るためには、三光束干渉において、三光束が瞳の中心位置に対して対称に入射すればよい。なぜなら、デフォーカスすると、波面は瞳中心からの距離の二乗にあるので、三光束が瞳の中心位置に対して対称に入射するとデフォーカス波面からの位相差がなくなり、デフォーカスしたときに、像の悪化が最小になるからである。

【0067】

図6(a)に示す瞳における回折光ABCの三光束干渉を考える。中心からのa、b、cの距離が等しくなる条件では、BCの中点をLとすると、ABとALのなす角とABとAOのなす角は等しく、三角形ABCと三角形A'B'C'は等しく、AL//BL'なので、ABとALのなす角とABとBL'のなす角は等しい。ABとALのなす角をとすると次式が成立する。

20

【0068】

【数11】

$$AL = A'L' = 1/P_x$$

30

【0069】

【数12】

$$BC = B'C' = 1/P_y$$

【0070】

【数13】

$$\alpha = \tan^{-1} (P_x / (2P_y))$$

40

【0071】

【数14】

$$b \sin(2\alpha) = 1 / (2P_y)$$

【0072】

【数 15】

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

【0073】

三光束 A B C では瞳の中心位置を点 O におくと、三光束の距離 A B C が等しくなる。瞳の中心位置を点 O におくためには、0 次光を瞳の中心位置から a だけ離れるように、数式 8 及び 9 のようにする。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が、方向は多少ずれていても解像する。

【0074】

3 光束が瞳に入射する最小半径は次式のようになる。

【0075】

【数 16】

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

【0076】

3 光束が瞳に入射する最大半径は図 6 ( b ) の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 6 ( b ) に示すように、点 O ' が中心となり、 $a = b = c = a' = b' = c'$  となっている。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。このため次式が成立する。

【0077】

【数 17】

$$\begin{aligned} d = e &= (1 / P y) / \sin (\tan^{-1} (1 / P y / a)) \\ &= (1 / P y) / \sin (\tan^{-1} (2 \sin (2 \alpha))) < 1 \end{aligned}$$

【0078】

例えば、パターンのピッチが  $P_x = P_y = P$  のとき、パターンのハーフピッチを  $k_1$  で表すと光源の中心位置は  $1 / (3 \cdot 2 k_1)$  となる。6 重極照明の各光源の方向は 53、127、180、233、307 (deg) とすると対称性がよいパターンとなる。このときの最小解像力は  $1 / (3 \cdot 2 k_1) < 1$  より、次式が成立する。

【0079】

【数 18】

$$k_1 > 0.3125$$

【0080】

【数 19】

$$0.3125 < k_1 < 0.5896$$

【0081】

よって、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  $0.31 < k_1 < 0.59$  とする。あるいは、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) を次式のようにするとよい。

【0082】

10

20

30

40

50

【数20】

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

【0083】

特に、 $P_y = 3P_x / 2$  となるように  $P_y$  のピッチを決めると、パターンはある1つのコンタクトホールを中心に6つのホールがピッチ  $P_x$  の距離に配置され、正三角形のパターンの集合体となる。そのとき3光束は正三角形となり、瞳中心に対して対称に結像させると、焦点深度がもっとも得られるようになる。

また、3光束干渉では、ウェハ平面内に集積できるコンタクトホールの数は、この場合、最も多くすることができる。パターンの横方向のハーフピッチ  $P_x / 2$ 、このときホール間のハーフピッチは全て  $P_x / 2$ 、 $AB = BC = CA$  の正三角形になる。 $P_x / 2 = k_1$  とすると次式が成立する。

10

【0084】

【数21】

$$AB = BC = CA$$

【0085】

【数22】

$$a = b = c = 1 / (3k_1)$$

20

【0086】

よって光源の中心位置は  $1 / (3k_1)$  となる。3光束が瞳に入射する最小半径は次式で表される。

【0087】

【数23】

$$a = b = c = 1 / (3k_1) < 1$$

30

【0088】

【数24】

$$k_1 > 0.3333$$

【0089】

3光束が瞳に入射する最大半径については次式が成立する。

40

【0090】

【数25】

$$d = e = (1 / P_y) / \sin(\tan^{-1}(2 \sin(2\alpha))) < 1$$

【0091】

【数26】

$$(1 / (\sqrt{3} k_1)) / 0.866 < 1$$

【0092】

【数27】

$$k_1 < 0.667$$

10

【0093】

よって、 $0.33 < k_1 < 0.67$ が成立する。ピッチをPとすると $P/2 = k_1 / NA$ より、次式が成立する。

【0094】

【数28】

$$0.33\lambda / (P/2) < NA < 0.67\lambda / (P/2)$$

【0095】

4光束干渉の最小の解像力は、 $k_1 > 0.25$ 、 $2 = 0.358$ であるから、3光束干渉は4光束干渉よりも解像性がよい。限界解像力を単純に比較して、約1.3倍集積度が向上する。

20

【0096】

以下、3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。 $NA = 1.35$ の光学系では入射角を $\theta$ とすると、 $NA = n \sin \theta$ 、 $n = 1.44$ から、 $\theta = 70^\circ$ である。入射角が70度の斜入射照明では、光学系の限界解像力付近の微細パターンは入射角最大で干渉し、偏光状態により干渉性が弱くなる。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。

30

【0097】

マスク130がハーフトーンマスクの場合、照明光の偏光の向きは、図3(a)に示すように、動径方向(ラジアル)偏光が好ましい。ここで、図3(a)は、マスク130がハーフトーンマスクである場合の照明光の偏光方向を示す概略平面図である。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その周囲の6つの1次回折光の偏光方向は同じである。

【0098】

図3(a)に示す6重極照明の光源S1からS6までの6つの光源のうち、図3(b)にS1とS5における偏光状態での3光束の偏光状態を示す。6重極照明の1つの光源S5では、図3(b)のように、0次回折光Aと1次回折光B及びCが干渉するが、ラジアル偏光照明にすると回折光ABCは図のような偏光方向となり、AとC、AとB、BとCの干渉性がよい。特に、ハーフトーンマスクの場合、Aの0次回折光と1次回折光B及びCは振幅の符号と大きさが異なるが、BとCは振幅が同じなので、BとCの干渉性がよいのは重要である。ハーフトーンマスクの場合、タンジェンシャル偏光照明にすると回折光ABCの偏光方向が90度回転した向きとなり、BとCの干渉性が弱くなるためコントラストが低下する。

40

【0099】

バイナリーマスクの場合、照明光の偏光の向きは図3(c)に示すように、タンジェンシャル偏光が好ましい。ここで、図3(c)は、マスク130がバイナリーマスクである場合の照明光の偏光方向を示す概略平面図である。図3(c)に示す6重極照明の光源S

50

1 から S 6 までの 6 つの光源のうち、図 3 ( d ) に S 1 と S 5 における偏光状態を示す。A の 0 次回折光と 1 次回折光 B 及び 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。バイナリマスクの場合、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。照明光が無偏光であるなら、ハーフトーンマスクよりもバイナリマスクにしたほうが高いコントラストが得られる。

#### 【実施例 1】

##### 【0100】

縦方向と横方向のピッチが同じ ( $P_x = P_y = P$ ) で、ArF エキシマレーザー (波長 193 nm) と NA = 1.35 の液浸露光装置 100 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焦点深度を示す。水の屈折率は約 1.44 である。マスク 130 はハーフトーンマスクを用いた。

10

##### 【0101】

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 2 ( a ) に示すような 6 重極照明、 $\sigma = 0.80$ 、ローカルな光源の大きさを  $r = 0.10$  とする。偏光は図 3 ( a ) に示すラジアル偏光、図 3 ( c ) に示すタンジェンシャル偏光、無偏光を比較する。

##### 【0102】

図 7 はかかる結果をまとめたグラフである。図 7 では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。コンタクトホール幅 W は  $W = P / 2$ 、 $P_x = P_y = P$  とした。同図よりラジアル偏光が高コントラストである。

20

##### 【0103】

また、有効光源の  $r = 0.10$  を固定し、 $\sigma$  をパラメータにとり、ハーフピッチを変化させたときのコントラスト変化を調べた。偏光方向はラジアル偏光とした。図 8 はかかる結果をまとめたグラフである。ハーフピッチの微細化に対し、 $0.35 k_1$  付近までコントラストが 40% 以上得られている。同様に、有効光源の  $r = 0.10$  を固定し  $\sigma$  をパラメータにとり、ハーフピッチを変化させたときの深度の変化を調べた。偏光方向はラジアル偏光とした。図 9 はかかる結果をまとめたグラフである。

##### 【0104】

露光では、露光量の誤差やフォーカス設定誤差が避けられず、誤差範囲内で像面にコンタクトホールを作成しなければならない。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% と見積もり、像面上のコンタクトホールが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焦点深度と定義する。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% 以下におさまり、かつコントラスト 40% 以上を満たすフォーカス範囲を焦点深度と定義する。3 光束露光では大きな焦点深度が得られ、ハーフピッチの微細化に対し、 $0.4 k_1$  付近まで深度が  $0.3 \mu\text{m}$  以上得られる。

30

##### 【0105】

同じマスクパターンでも、有効光源が適切でないと焦点深度は得られない。以下、図 18 ( a ) に示す小照明や図 18 ( b ) に示す輪帯照明を例に説明する。露光装置 100 (ArF エキシマレーザー、NA = 1.35) により、図 4 ( a ) のようなコンタクトホール  $W = 80$  (nm)、 $P_x = P_y = P = 80$  (nm) を露光する。有効光源として、図 18 ( a ) に示す小照明 ( $\sigma = 0.3$ ) と、図 18 ( b ) に示す輪帯照明 (外側  $\sigma = 0.65$ 、内側  $\sigma = 0.45$ ) とを使用する。どちらも無偏光照明とした。これらと図 2 ( a ) 及び図 3 ( a ) のような 6 重極照明で露光した場合を比較する。パターンのハーフピッチは  $80 \text{ nm}$  ( $k_1 = 0.56$ ) (外側  $\sigma = 0.65$ 、ローカル  $r = 0.1$ 、中心位置  $1 / (3.2 * 0.56) \sim 0.55$ )。この場合、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大きさ (Critical Dimension: 50

40

50

CD)は図10及び図11に示すように変化する。小照明では、最も高コントラストな像となるがコントラスト40%以上得られるフォーカス範囲は $0.2\mu\text{m}$ もなく、それ以上に、デフォーカスに対してCD変化が大きく、焦点深度が得られない。輪帯照明では小照明よりも焦点深度が得られるが $0.2\mu\text{m}$ よりも少ない。

【0106】

つまり、小照明では光が殆ど垂直に入射してくるため、0次回折光と6つの1次回折光が7光束で干渉するため、ベストフォーカスでは高コントラストであるが焦点深度が得られない。また、輪帯照明では斜入射で光が入射し、3光束の干渉となり得るが、3光束が瞳の中心に対して、対称でない光が多く入射するため、デフォーカスに対して、像の悪化が大きくなり焦点深度が得られない。一方、3光束が瞳の中心に対して、対称となるようにした6重極照明ではデフォーカスに対して、像の悪化が少なく大きな焦点深度が得られる。

10

【実施例2】

【0107】

縦方向と横方向のピッチが同じ( $P_x = P_y = P$ )で、ArFエキシマレーザーと $NA = 1.35$ の液浸露光装置100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焦点深度を示す。水の屈折率は約1.44である。マスク130はバイナリーマスクを用いた。

【0108】

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2(a)に示す6重極照明、 $\sigma = 0.80$ 、ローカルな光源の大きさを $r = 0.10$ とする。偏光は図3(a)に示すラジアル偏光、図3(c)に示すタンジェンシャル偏光、無偏光を比較する。

20

【0109】

図12はかかる結果をまとめたグラフである。図12では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。コンタクトホール幅 $W$ は $W = P/2$ 、 $P_x = P_y = P$ とする。バイナリーマスクでは図12よりタンジェンシャル偏光が高コントラストである。しかし、偏光方向によるコントラストの差は少ない。いずれの偏光方向でもハーフトーンマスクをラジアル偏光(動径方向の偏光)で照明したとき(図7及び図8など)と比較しても同等のコントラストが得られている。

30

【0110】

また、有効光源は $\sigma = 0.80$ 、ローカルな光源の大きさを $r = 0.10$ とし、ハーフピッチを変化させ、深度の変化を調べた。偏光方向はタンジェンシャル偏光、ラジアル偏光、無偏光を比較する。図13はかかる結果をまとめたグラフである。バイナリーマスクでは図13よりタンジェンシャル偏光が、微細なハーフピッチで、他の偏光状態より焦点深度がより得られている。しかし、偏光方向による焦点深度の差は少ない。いずれの偏光方向でもハーフトーンマスクをラジアル偏光で照明したとき(図9)と比較しても同等の焦点深度が得られている。

【実施例3】

【0111】

次に、 $P_y = 3P_x/2$ となるように $P_y$ のピッチを決めたときに焦点深度がどのように得られるかを示す。コンタクトホール幅 $W$ は $W = P_x/2$ 、 $P_y = 3P_x/2$ とする。ArFエキシマレーザーと $NA = 1.35$ の液浸露光装置100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焦点深度を示す。水の屈折率は約1.44である。マスク130はハーフトーンマスクを用いた。

40

【0112】

有効光源は図2(a)及び図3(a)のような6重極照明とし、ローカルな $r = 0.10$ とした。偏光は実施例1の結果から、高コントラストが得られるように、図3(a)ラジアル偏光とする。

【0113】

50

図14では有効光源の  $r = 0.10$  を固定し、 $\lambda$  をパラメータにとり、ハーフピッチを変化させたときのコントラスト変化を調べた。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。ハーフピッチの微細化に対し、 $0.35k_1$  付近までコントラストが40%以上得られている。実施例1の結果よりも微細なピッチでコントラストがより得られている。

【0114】

同様に、有効光源の  $r = 0.10$  を固定し、 $\lambda$  をパラメータにとり、ハーフピッチを変化させたときの焦点深度の変化を調べた。図15はかかる結果を示すグラフである。偏光方向はラジアル偏光とする。3光束露光では大きく深度が得られ、ハーフピッチの微細化に対し、 $0.4k_1$  付近まで深度が  $0.3\mu\text{m}$  以上得られている。実施例1と比較して

10

【実施例4】

【0115】

本実施例は、マスク130にハーフトーンマスクを用い、孤立コンタクトホールCHを露光する。孤立コンタクトホールCHでは、補助パターンAPをホールの周囲に3角形をなすように配置し6つの補助パターンAPを孤立のホールに配置する。図23(a)乃至(e)に示すように、補助パターンAPを孤立コンタクトホールCHの周囲に3角形をなすよう順次、補助パターンAPを加えていき、図22に示すような孤立コンタクトホールCHの周りに6つの補助パターンAPを挿入する。

【0116】

20

補助パターンの効果を確認するために、図22に示す右上の補助パターンなしの孤立コンタクトホールCH<sub>4</sub>を、左下に周囲6つの補助パターンAPありの孤立コンタクトホールCH<sub>3</sub>と比較する。補助パターンAPの大きさは幅sとする。横方向のピッチをPx、縦方向のピッチをPyとすると、Pxはパターンのハーフピッチ (Px/2) をk<sub>1</sub>で表して、 $0.33 < k_1 < 0.67$  となるようにし、 $Py = 3Px/2$  にする。なお、CHはCH<sub>3</sub>及びCH<sub>4</sub>を総括する。

【0117】

孤立コンタクトホールCHの大きさがw = 72 (nm)、79 (nm)、86 (nm)、100 (nm)を同時に解像するようにしたい。孤立コンタクトホールCHのみなので、補助パターンAPのハーフピッチは  $0.33 < k_1 < 0.67$  の範囲で任意であるが、最適な露光条件とするために、孤立コンタクトホールCHの大きさによらず一定のハーフピッチにする。この場合、ハーフピッチを全て  $P/2 = 72$  (nm) とした。

30

【0118】

ArFエキシマレーザー、NA = 1.35の液浸露光装置100を使用し、ハーフピッチをk<sub>1</sub>で表すとk<sub>1</sub> = 0.5となる。有効光源は図2(a)及び図3(a)のような6重極照明とし、ローカルな  $r = 0.10$  とした。偏光は実施例1の結果から、高コントラストが得られるように、図3(a)に示すラジアル偏光とした。六重極の中心位置は  $1/(3k_1) = 0.67$  とする。補助パターンSの大きさはすべて同じにし、ハーフピッチの0.8倍、 $S = 0.80 \cdot P/2 = 58$  (nm) とした。このときの二次元強度分布の結果を図24に示す。所定の大きさになる強度とその強度の±20%の等高線を示して

40

【0119】

孤立コンタクトホールCH<sub>3</sub>は孤立コンタクトホールCH<sub>4</sub>よりもコントラストがよく、デフォーカス時にもホールパターンが得られていることがわかる。従って、これらの異なる大きさのホールが焦点深度 ~  $0.2\mu\text{m}$  にわたり、ホールが形成される。このように補助パターンAPの大きさは補助パターンAPのハーフピッチの0.6倍から0.8倍、または孤立コンタクトホールCHの大きさの0.6倍から0.8倍にするとよい。但し、孤立のホールパターンCHの大きさが異なるホールパターンを同時に露光する場合には、補助パターンAPのハーフピッチはすべて同じにするとよい。そして、補助パターンAPの大きさは補助パターンAPのハーフピッチの0.6倍から0.8倍にするとよい。

50

ホールパターンの大きさが異なる場合、同じ露光量で、所定の大きさになるように大きさ補正をする。

【実施例 5】

【0120】

本実施例は、マスク 130 にハーフトーンマスクを用い、孤立パターンと密集パターンが、図 25 に示すように、混在している場合について説明する。パターン右上の孤立パターン  $CH_5$  は比較のために補助パターンをつけないとすると、図 26 に示すような補助パターン AP の配置が考えられる。他のパターンがあって補助パターンの配置ができないときは、図 21 (a) 乃至 (d) に示すように所望のパターンの周囲に三角形となるように配置していく。補助パターン AP のピッチ  $P_x$  と  $P_y$  は密集パターンの最小ピッチにあわせる。

10

【0121】

孤立コンタクトホール同様、密集したホールパターンにおいて隣にホールが配置されない周辺のホールにも 3 角形をなすように配置し、周囲に 6 つのホールが配置するように補助パターンを配置した。補助パターンの大きさはすべて同じ大きさにした。孤立のホールパターンが密集したホールパターンと同じ露光量で、同じ大きさになるように大きさ補正をした。密集したホールパターンにおいても、隣にホールが配置されない周辺のホールに、同じ露光量で、密集したホールパターンの中心と周辺が同じ大きさになるように大きさ補正をすれば、密集パターンの大きさの均一性はさらによくする。但し、この例では周辺ホールの大きさ補正はしていない。

20

【0122】

補助パターンのハーフピッチは密集パターンのハーフピッチ ( $P_x / 2 = 72$ 、 $P_y = 3 P_x / 2$ ) と同じにする。密集パターンのホールと孤立ホールの大きさをそろえるために、密集パターンのホールの大きさは  $72$  (nm) であるが、孤立ホールの大きさを  $W_i = 72 * 1.06 = 76$  (nm)、補助パターンの幅は  $S = W_i * 0.70 = 53$  (nm) とした。このときの露光条件は実施例 4 と同じにする。

【0123】

図 28 に露光した結果である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。密集パターンのホールと孤立ホールの大きさが均一となり、右側の  $\pm 0.1 \mu\text{m}$  デフォ - カスしたものも解像されていることがわかる。

30

【0124】

次に、図 25 の同じパターンを図 26 のマスクパターンを用いて、より微細な  $w = 65$  (nm)、ハーフピッチ  $P_x / 2 = 65$  (nm) のホールの露光結果を示す。密集パターンのホールと孤立ホールの大きさをそろえるために、密集パターンのホールの大きさは  $65$  (nm) であるが、孤立ホールの大きさを  $W_i = 65 * 1.20 = 78$  (nm)、補助パターンの幅は  $S = W_i * 0.75 = 58$  (nm) とした。ArF エキシマレーザー、 $NA = 1.35$  の液浸露光装置で露光すると、ハーフピッチを  $k_1$  で表すと  $k_1 = 0.4$  となる。有効光源は図 2 (a) 及び図 3 (a) のような 6 重極照明とし、ローカルな  $r = 0.10$  とした。偏光は実施例 1 の結果から、高コントラストが得られるように、図 3 (a) に示すラジアル偏光とした。

40

六重極の中心位置は  $1 / (3 k_1) = 0.83$  とする。

【0125】

図 29 は露光した結果である二次元強度分布を示す。密集パターンのホールと孤立ホールの大きさが均一となり、右側の  $\pm 0.1 \mu\text{m}$  デフォ - カスしたものも解像されていることがわかる。補助パターンの配置はパターンの間に入れる余地があれば図 27 に示すように補助パターンを所望のパターンの周囲に 2 重に取り囲むように配置してもよい。

【0126】

図 25 のような  $w = 65$  (nm) のホールで  $P_x$  は密集パターンのハーフピッチ ( $P_x / 2 = 65$ 、 $P_y = 3 P_x / 2$ ) であったら、密集パターンのホールと孤立ホールの大きさをそろえるために、密集パターンのホールの大きさは  $65$  (nm) である。しかし、

50

孤立ホールの大きさを  $W_i = 65 * 1.15 = 75$  (nm)、補助パターンの幅は  $S = W_i * 0.70 = 52$  (nm) とすると、図 29 とほぼ同じ結果が得られた。補助パターンを所望のパターンの周囲に 2 重に取り囲むように配置した場合、孤立ホールの大きさの補正は 1 重に取り囲むように配置した場合とくらべて若干小さくでき、補助パターンの幅は  $S$  も若干小さくできる。露光結果もパターンが微細になれば、補助パターンを所望のパターンの周囲に 2 重に取り囲むほうが若干よくなるが、最適な補助パターンの幅と孤立パターンの大きさ補正をすれば、所望のパターンの周囲に 1 重に取り囲めば解像力と深度の拡大効果は得られる。

【実施例 6】

【0127】

次に、補助パターンをいれて千鳥格子状のパターンを作成する方法について説明する。図 30 (a) に示すようなパターンの碁盤目状のパターンがあり、 $y$  方向のピッチを  $P_y$ 、 $x$  方向のピッチ  $P_x$  であり、 $P_y = 1.5 P_x$  であるとする。このとき  $y$  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。このようなパターンに対して、図 30 (b) に示すようにパターンを入れると効果がある。図 30 (b) では所望のパターンを白で、補助パターンを灰色で示している。補助パターンは  $P_y = 0.75 P_x$  で所望のパターンとは  $x$  方向のパターンとは半ピッチずれるように入れる。

【0128】

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、 $P_x = 120$  nm、 $P_y = 120 * 1.5 = 180$  nm である。補助パターンの幅は  $60 * 0.67 = 40$  (nm) とした。今までと同じ露光条件、ArF エキシマレーザー、 $NA = 1.35$  の液浸露光装置で、露光した結果を示す。照明条件は図 31 のような 6 重極照明で  $a = 0.86$ 、 $2 = 2 \tan^{-1}(1/1.5) = 67.4^\circ$  である。ローカルな大きさ  $r = 0.10$  とした。偏光はラジアル偏光とした。図 32 (a) 及び図 32 (b) は露光した結果である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。この  $x$  方向のハーフピッチ  $60$  nm を  $k_1$  で表すと  $k_1 = 0.42$  となる。

【0129】

図 32 (a) 及び (b) の右上のパターンは図 30 (b) の補助パターンが入っているパターン、比較のために左下のパターンは図 30 (a) の補助パターンが入っていないパターンを同時に露光したものである。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。図 32 (a) はベストフォーカスでの結果、図 32 (b) は  $\pm 0.06 \mu\text{m}$  の結果を示す。ベストフォーカス、デフォーカス時共に、補助パターンを入れたほう (右上のパターン) がコントラストが良好であることがわかる。

【0130】

図 33 (a) のような縦横比の違うホールにも効果がある。ホールの  $x$  方向の幅が  $y$  方向の幅の 2 倍ある場合について結果を示す。コンタクトホールの大きさは  $x$  方向の幅は  $130$  nm、 $y$  方向の幅  $65$  nm、 $x$ 、 $y$  方向の間隔は  $65$  nm であるとき、ピッチは  $P_x = 195$  nm、 $P_y = 130$  nm である。補助パターンをいれるならば図 33 (b) に示すようになり、補助パターンの幅は  $x$  方向を、 $130 \text{ nm} * 0.8 = 104$  nm、補助パターンの幅  $y$  方向を  $65 \text{ nm} * 0.8 = 52$  nm とした。今までと同じ露光条件ではこの  $y$  方向のハーフピッチ  $65$  nm を  $k_1$  で表すと  $k_1 = 0.45$  となる。照明条件は図 34 のような 6 重極照明で  $a = 0.58$ 、 $2 = 2 \tan^{-1}(1.5/2) = 73.7^\circ$  である。ローカルな大きさ  $r = 0.10$  とした。偏光は無偏光とした。ArF エキシマレーザー、 $NA = 1.35$  の液浸露光装置で、露光した結果を示す。図 35 (a) 及び図 35 (b) は露光した結果である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。図 35 (a) はベストフォーカスでの結果、図 35 (b) は  $\pm 0.10 \mu\text{m}$  のデフォーカス時の結果を示す。ベストフォーカス、デフォーカス時ともにコントラストが良好であり、約  $0.2 \mu\text{m}$  の深度が得られている。この場合、

10

20

30

40

50

無偏光照明としたので、ラジアル偏光にするとコントラストは改善される。

【0131】

B r i c k W a l l パターンのような、パターンが遮光型で、パターン周囲が光透過型のマスクにも効果がある。図36(a)のパターンでは所望のパターンを黒で、光透過部分を白で示している。B r i c k W a l l パターンに補助パターンをいれるならば図36(b)に示すようになり、補助パターンの幅はXY方向ともに、 $65\text{ nm} * 0.8 = 52\text{ nm}$ とする。今までと同じ露光条件ではこのY方向のハーフピッチ $65\text{ nm}$ を $k_1$ で表すと $k_1 = 0.45$ となる。照明条件は先ほどと同じ、図34のような6重極照明で $a = 0.58$ ,  $2 = 2 \tan^{-1}(1.5/2) = 73.7^\circ$ である。ローカルな大きさ $r = 0.10$ とした。偏光は無偏光とした。A r F エキシマレーザー、 $NA = 1.35$ の液浸露光装置で、露光した結果を示す。図37(a)及び図37(b)は露光した結果である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。図37(a)はベストフォーカスでの結果、図37(b)は $\pm 0.10\text{ }\mu\text{m}$ の結果を示す。ベストフォーカス、デフォーカス時ともにコントラストが良好であり、デフォーカス時の劣化が少なく、 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 以上の深度が得られている。

10

【0132】

ここで、 $P_x$ と $P_y$ の比が $P_y = 2 P_x$ の特殊な場合について注意したい。このとき、 $2 = 2 \tan^{-1}(2/1*2) = 90^\circ$ 、 $2 = 90^\circ$ となり、6重極のX軸上でない2つが重なり、4重極(クロスボール)となるが、これは6重極照明の変形と考えられる。4重極(クロスボール)ではあるが、3光束干渉を行うことは明らかである。

20

【0133】

もうひとつのB r i c k W a l l パターンの例を示す。図38のパターンでは所望のパターンを黒で、光透過部分を白で示している。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は大きさはX方向の幅は $260\text{ nm}$ 、Y方向の幅 $65\text{ nm}$ 、X、Y方向の間隔は $65\text{ nm}$ であるとき、ピッチは $P_x = 325\text{ nm}$ 、 $P_y = 130\text{ nm}$ である。今までと同じ露光条件ではこのY方向のハーフピッチ $65\text{ nm}$ を $k_1$ で表すと $k_1 = 0.45$ となる。

【0134】

照明条件は図39のような6重極照明で $a = 0.57$ ,  $2 = 2 \tan^{-1}(2.5/2) = 102.7^\circ$ である。ローカルな大きさ $r = 0.10$ とした。偏光は無偏光とした。A r F エキシマレーザー、 $NA = 1.35$ の液浸露光装置で、露光した結果を示す。図40(a)及び図40(b)は露光した結果である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。図40(a)はベストフォーカスでの結果、図40(b)は $\pm 0.10\text{ }\mu\text{m}$ の結果を示す。ベストフォーカス、デフォーカス時ともにコントラストが良好であり、デフォーカス時の劣化が少なく、 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 以上の深度が得られている。

30

【0135】

S P I E 2 0 0 3 \_ 5 0 4 0 \_ 2 3、H. Kim氏は、B r i c k W a l l パターンで照明条件の最適化を行っている。コンピュータシミュレーションにより、最適条件を探索する方法である。論文ではB r i c k W a l l パターンに対して、図41(a)に示す有効光源形状の照明を示しているが、照明条件の詳細はわからない。この方法ではあるピッチのパターンに対して、照明条件の最適解を得るのは容易ではなく、一般解は開示されていない。論文中の照明は6重極照明によく似ているが、6重極の一つ一つの光源は瞳中心からの距離が等しくないの、x方向とy方向の斜入射の入射角度は一致していない。x軸上の光源はx方向の周期パターンを斜入射照明し、x軸上にない光源はy方向の周期パターンを斜入射照明するようになっている。さらに、y方向解像のための斜入射の光源が大きいので、y方向の解像性を強調した照明になっている。

40

【0136】

ここでは、先ほど得られた $a = 0.57$ ,  $2 = 2 \tan^{-1}(2.5/2) = 102.7^\circ$ をもとに、X軸上にない光源部分を外側に引き伸ばし、図41(b)のような光源

50

とし、図38のようなBrick Wallパターンを解像させた。図42(a)及び図42(b)は露光した結果である二次元強度分布を示す。図42(a)はベストフォーカスでの結果、図42(b)は $\pm 0.10 \mu\text{m}$ の結果を示す。X軸上にない光源部分を外側に引き伸ばしy方向の周期パターンの解像性を強調しているため、ベストフォーカス、デフォーカス時共に、ラインパターンのy方向のエッジがシャープでコントラストがいい。しかし、x方向のラインパターンの先端の分離が難しく、デフォーカスすると分離されない。従って図41(b)のような照明では、ラインパターンのx方向の間隔をもっと離さなければ解像されない。

#### 【0137】

以上説明したように、図39に示すような6重極照明で、6重極の一つ一つの光源は瞳中心からの距離を等しくし、3光束干渉によって像が形成されるように照明条件を最適化してやれば、x方向とy方向のバランスの取れた対称性がよい像となる。また、デフォーカス時の劣化が少なく、微細なパターンで実用的な深度が得られるようになる。

#### 【0138】

次に、露光装置100を利用したデバイス製造方法を図43及び図44を参照して説明する。ここで、図43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。

#### 【0139】

図44は、図43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40によってマスク42の回路パターンをウェハ47に露光する。ステップ17(現像)では露光したウェハ47を現像する。ステップ18(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19(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47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れば、従来は製造が難しかった微細なコンタクトホールパターン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。

#### 【0140】

以上の結果から、3光束干渉によって得られる像はコントラストがよく、微細なピッチで深度が大きく得られる。2光束干渉ではハーフピッチの微細化に対し、コントラスト40%以上を満たすことは難しく、4光束干渉ではコントラストは得られるが深度が $0.3 \mu\text{m}$ 以上得られるのは、ハーフピッチが $0.5 \mu\text{m}$ 以上である。したがって、3光束干渉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。

#### 【0141】

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。

#### 【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

## 【 0 1 4 2 】

【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 1 に示す露光装置のマスクパターンの基本例を示す平面図である。

【図 3】図 3 ( a ) は、図 1 に示す露光装置のマスクがハーフトーンマスクである場合の照明光の偏光方向を示す概略平面図である。図 3 ( b ) は、図 3 ( a ) に示す 2 つの光源の偏光状態での瞳面上での 3 光束の偏光状態を示す。図 3 ( c ) は、マスクがバイナリーマスクである場合の照明光の偏光方向を示す概略平面図である。図 3 ( d ) は、図 3 ( c ) に示す 2 つの光源の偏光状態での瞳面上での 3 光束の偏光状態を示す。

10

【図 4】図 4 ( a ) は、図 2 ( b ) 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 4 ( b ) は、図 4 ( a ) に示すパターンの回折光のシミュレーション結果を示す平面図である。

【図 5】図 5 は、図 4 ( b ) の瞳をずらして 3 光束干渉を説明する概略平面図である。

【図 6】図 6 ( a ) 及び図 6 ( b ) は、瞳における回折光の 3 光束干渉を説明するための概略平面図である。

【図 7】第 1 の実施例における偏光状態に依存したハーフピッチとコントラストとの関係を示すグラフである。

【図 8】第 1 の実施例における に依存したハーフピッチとコントラストとの関係を示すグラフである。

20

【図 9】第 1 の実施例における に依存したハーフピッチと焦点深度との関係を示すグラフである。

【図 10】小 及び輪帯照明と 6 重極照明とを比較した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 11】小 及び輪帯照明と 6 重極照明とを比較したデフォーカスと線幅 C D との関係を示すグラフである。

【図 12】第 2 の実施例における偏光状態に依存したハーフピッチと焦点深度との関係を示すグラフである。

【図 13】第 2 の実施例における に依存したハーフピッチと焦点深度との関係を示すグラフである。

30

【図 14】第 3 の実施例における に依存したハーフピッチと焦点深度との関係を示すグラフである。

【図 15】第 3 の実施例における に依存したハーフピッチと焦点深度との関係を示すグラフである。

【図 16】図 16 ( a ) は、図 1 に示す露光装置の開口絞りに適用しない形状の概略平面図である。図 16 ( b ) は、光源の方向をパターンの方向と一致しない場合に 2 光束干渉が起こる様子を示す概略平面図である。図 16 ( c ) は、光源の方向をパターンの方向と一致しない場合に 4 光束干渉が起こる様子を示す概略平面図である。

【図 17】図 17 ( a ) は、行列状のコンタクトホールパターンを有する位相シフトマスクの概略平面図である。図 17 ( b ) は、図 17 ( a ) に示すパターンにおける回折光の飛び方を示す概略平面図である。

40

【図 18】図 18 ( a ) は、円形の有効光源形状を示す概略平面図である。図 18 ( b ) は、輪帯の有効光源形状を示す概略平面図である。

【図 19】図 19 ( a ) は、図 18 ( a ) に示す有効光源形状で図 17 ( a ) に示すコンタクトホールパターンを照明した場合のピッチとコントラストとの関係を示すグラフである。図 19 ( b ) は、図 18 ( a ) に示す有効光源形状で図 17 ( a ) に示すコンタクトホールパターンを照明した場合のピッチと焦点深度との関係を示すグラフである。

【図 20】孤立パターンに対して補助パターンを挿入する方法を説明するための概略平面図である。

【図 21】図 21 ( a ) 乃至図 21 ( d ) は孤立パターンに対して補助パターンを挿入す

50

る方法を説明するための概略平面図である。

【図 2 2】第 4 の実施例の補助パターンが挿入されたマスクパターンの概略平面図である。

【図 2 3】図 2 3 ( a ) 乃至 ( e ) は、図 2 2 に示すマスクパターンを形成する手順を説明するための概略平面図である。

【図 2 4】図 2 2 に示すマスクパターンを解像した結果を示す図である。

【図 2 5】第 5 の実施例の所望のパターンの概略平面図である。

【図 2 6】図 2 5 に示すパターンに補助パターンを挿入したマスクパターンの概略平面図である。

【図 2 7】図 2 5 に示すパターンに別の補助パターンを挿入したマスクパターンの概略平面図である。

【図 2 8】図 2 6 に示すパターンを解像した結果を示す図である。

【図 2 9】図 2 6 に示すパターンを異なる露光条件で解像した結果を示す図である。

【図 3 0】図 3 0 ( a ) は、第 6 の実施例の所望のパターンの概略平面図である。図 3 0 ( b ) は、図 3 0 ( a ) に、補助パターンを挿入した千鳥格子状のマスクパターンの概略平面図である。

【図 3 1】図 3 0 ( b ) に示すマスクパターンを露光するための有効光源形状 ( 又はそれを規定する開口絞りの形状 ) の概略平面図である。

【図 3 2】図 3 2 ( a ) は、図 3 0 ( b ) に示すマスクパターンをベストフォーカス時で露光した結果を示す図である。図 3 2 ( b ) は、図 3 0 ( b ) に示すマスクパターンをデフォーカス時で露光した結果を示す図である。

【図 3 3】図 3 3 ( a ) は、第 6 の実施例の別の所望のパターンの概略平面図である。図 3 3 ( b ) は、図 3 3 ( a ) に、補助パターンを挿入した千鳥格子状のマスクパターンの概略平面図である。

【図 3 4】図 3 3 ( b ) に示すマスクパターンを露光するための有効光源形状 ( 又はそれを規定する開口絞りの形状 ) の概略平面図である。

【図 3 5】図 3 5 ( a ) は、図 3 3 ( b ) に示すマスクパターンをベストフォーカス時で露光した結果を示す図である。図 3 5 ( b ) は、図 3 3 ( b ) に示すマスクパターンをデフォーカス時で露光した結果を示す図である。

【図 3 6】図 3 6 ( a ) は、第 6 の実施例の更に別の所望のパターンの概略平面図である。図 3 6 ( b ) は、図 3 6 ( a ) に、補助パターンを挿入した千鳥格子状のマスクパターンの概略平面図である。

【図 3 7】図 3 7 ( a ) は、図 3 6 ( b ) に示すマスクパターンをベストフォーカス時で露光した結果を示す図である。図 3 7 ( b ) は、図 3 6 ( b ) に示すマスクパターンをデフォーカス時で露光した結果を示す図である。

【図 3 8】図 3 8 は、第 6 の実施例の更に別の所望のパターンの概略平面図である。

【図 3 9】図 3 8 に示すマスクパターンを露光するための有効光源形状 ( 又はそれを規定する開口絞りの形状 ) の概略平面図である。

【図 4 0】図 4 0 ( a ) は、図 3 8 に示すマスクパターンをベストフォーカス時で露光した結果を示す図である。図 4 0 ( b ) は、図 3 8 に示すマスクパターンをデフォーカス時で露光した結果を示す図である。

【図 4 1】図 4 1 ( a ) 及び図 4 1 ( b ) は、従来の有効光源形状を示す概略平面図である。

【図 4 2】図 4 2 ( a ) は、図 3 8 に示すマスクパターンをベストフォーカス時で露光した結果を示す図である。図 4 2 ( b ) は、図 3 8 に示すマスクパターンをデフォーカス時で露光した結果を示す図である。

【図 4 3】デバイス ( IC や L S I 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 4 4】図 4 3 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】

10

20

30

40

50

【 0 1 4 3 】

1 0 0

1 2 0

1 3 0

1 7 0

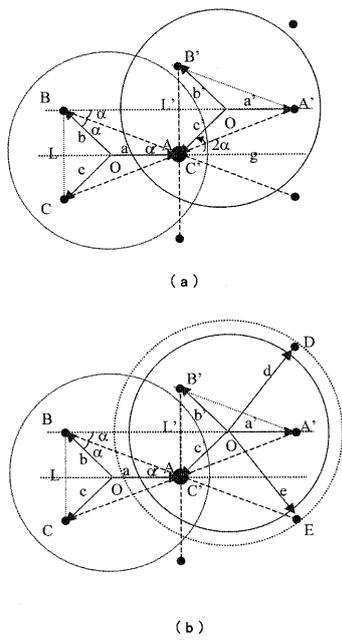
露光装置

開口絞り

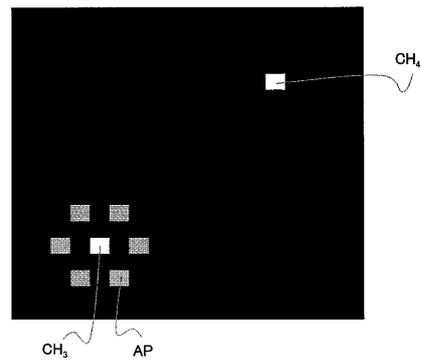
マスク

被露光体

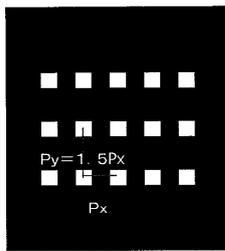
【 図 6 】



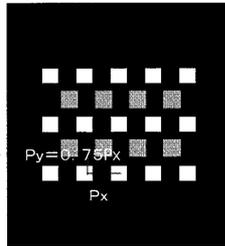
【 図 2 2 】



【図30】

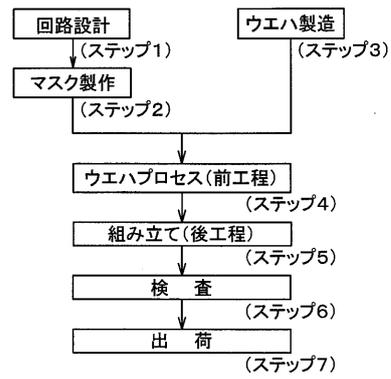


(a)

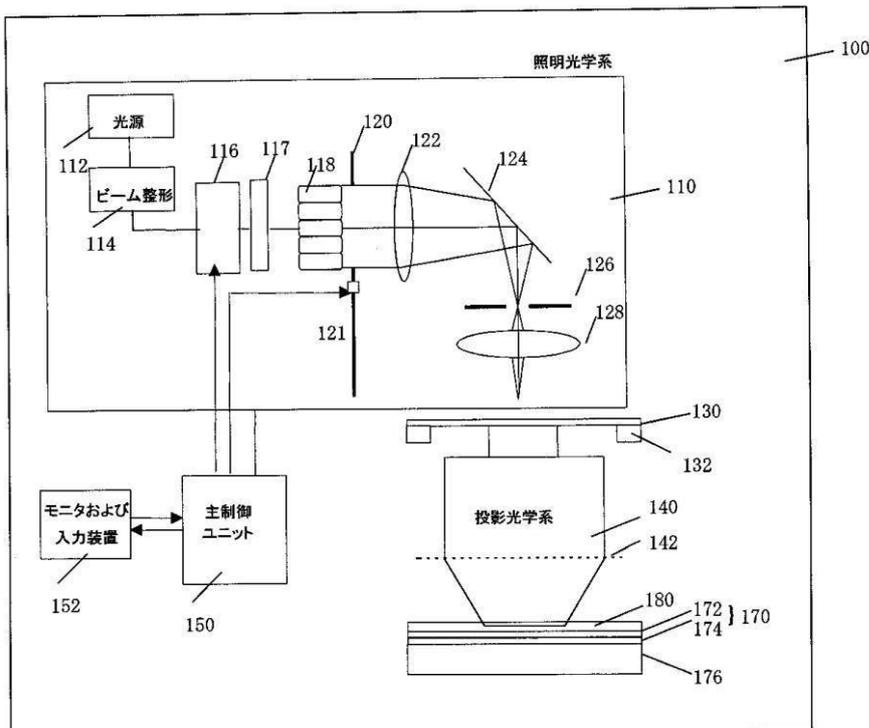


(b)

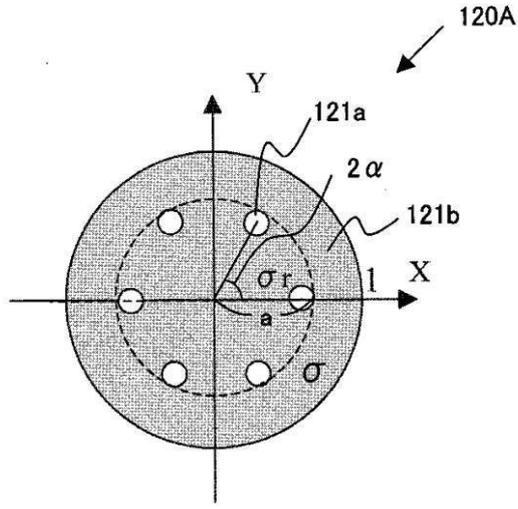
【図43】



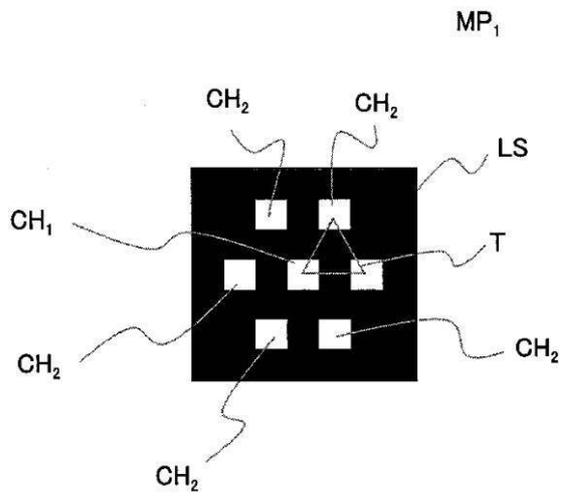
【図1】



【 図 2 】

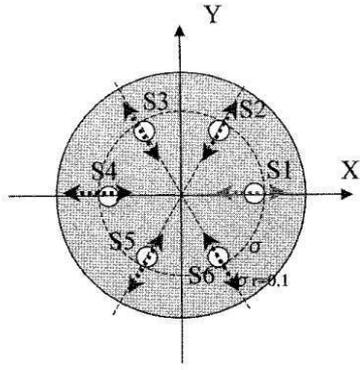


( a )

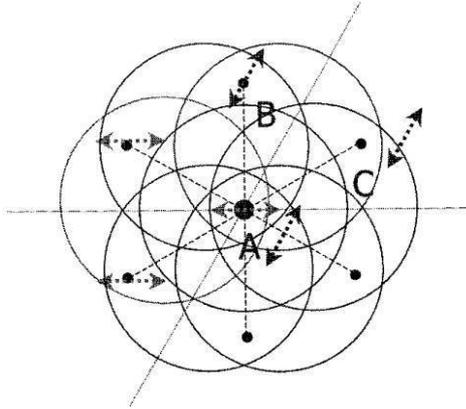


( b )

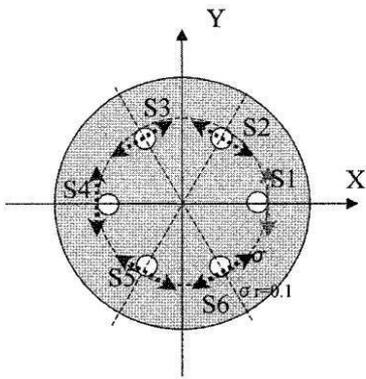
【 図 3 】



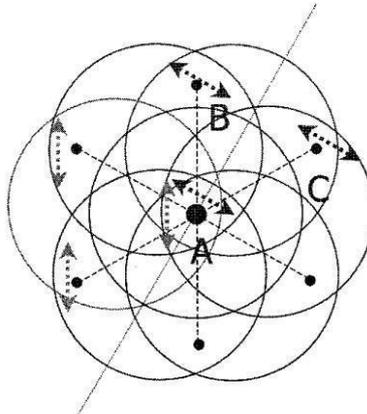
(a)



(b)

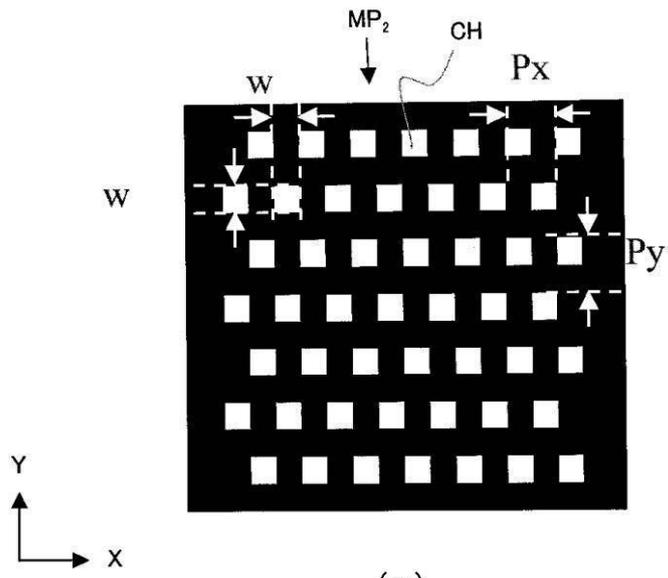


(c)

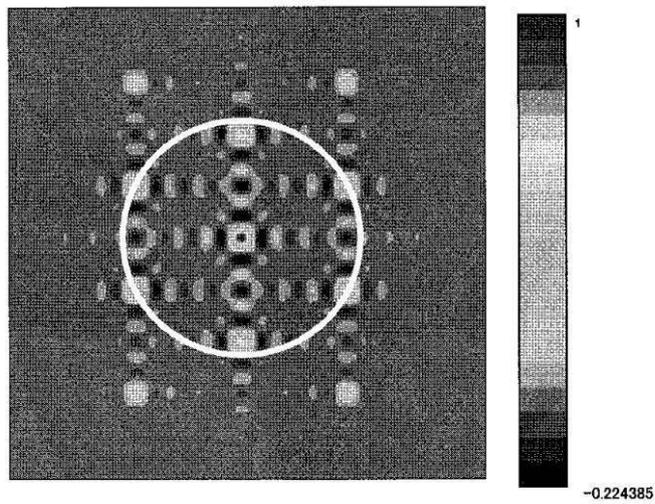


(d)

【 図 4 】

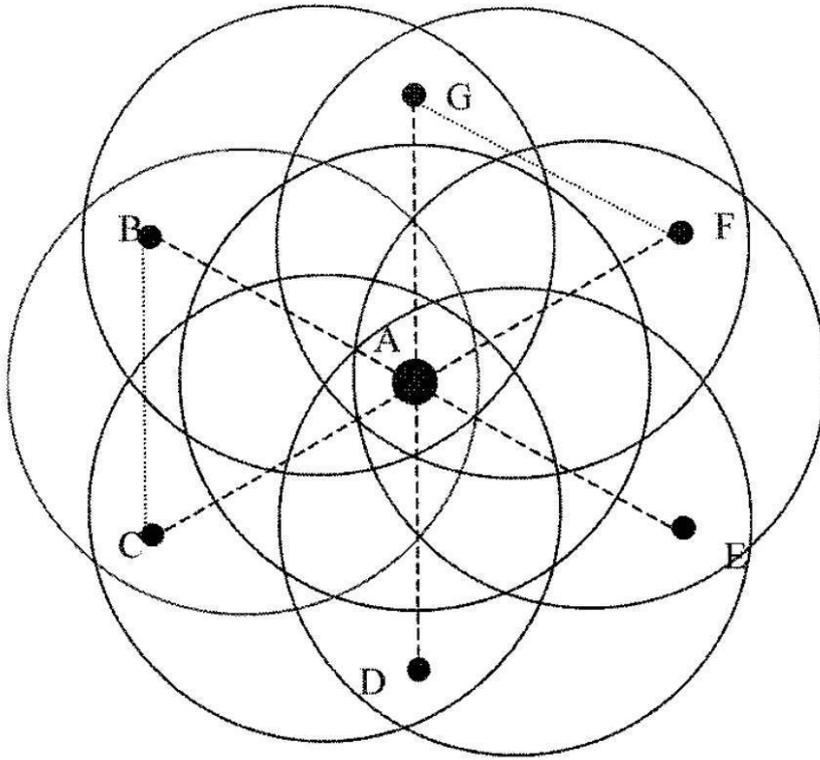


(a)



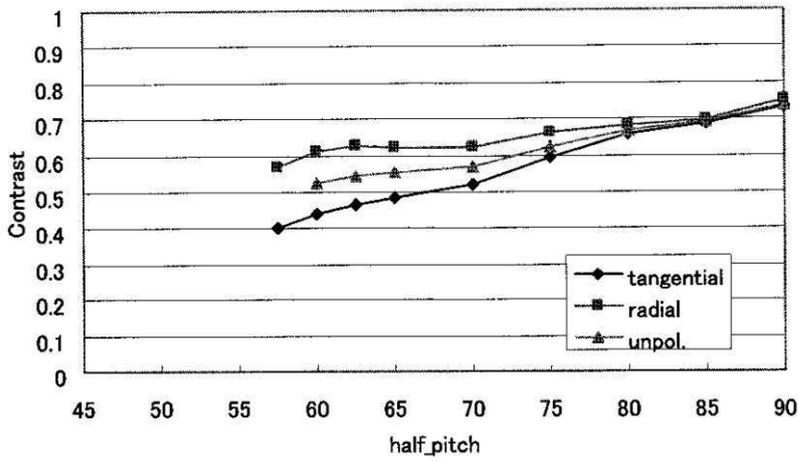
(b)

【 図 5 】

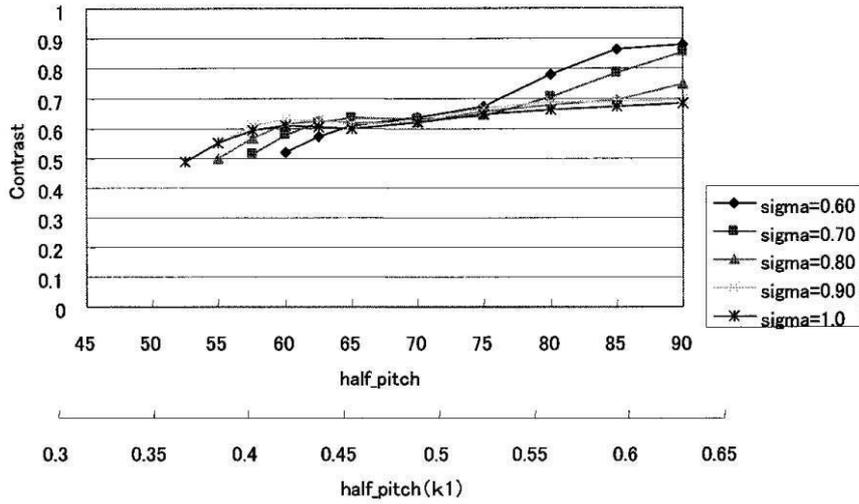


【 図 7 】

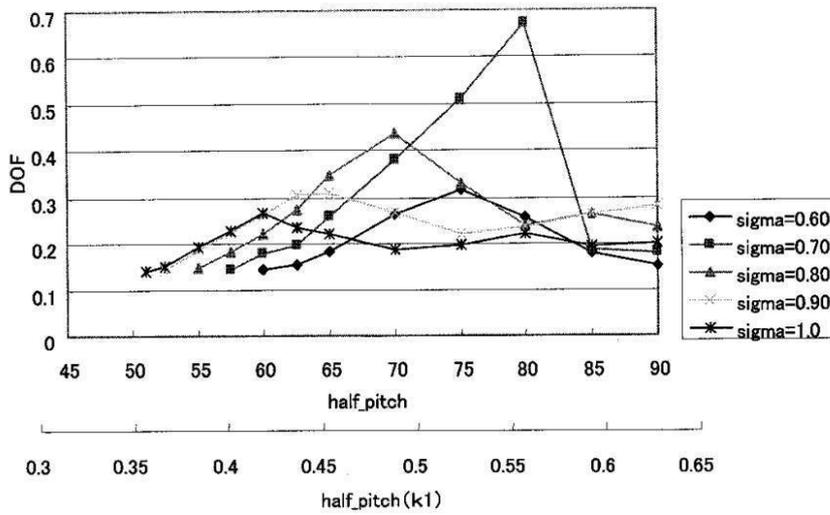
CH,Att\_PSM, sigma=0.8



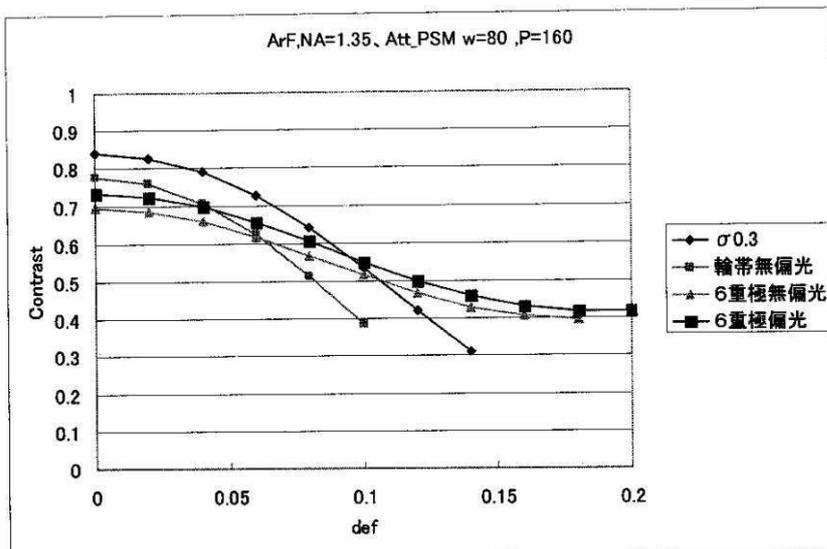
【 8 】



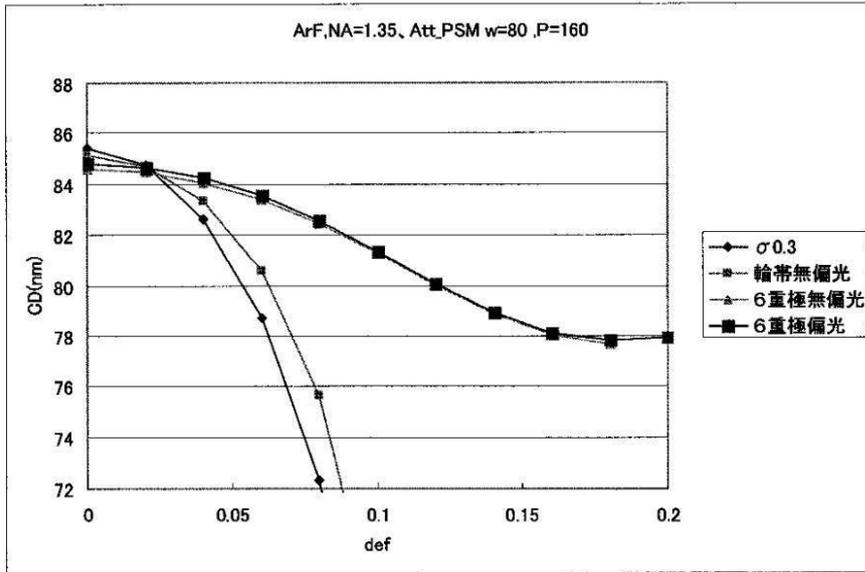
【 9 】



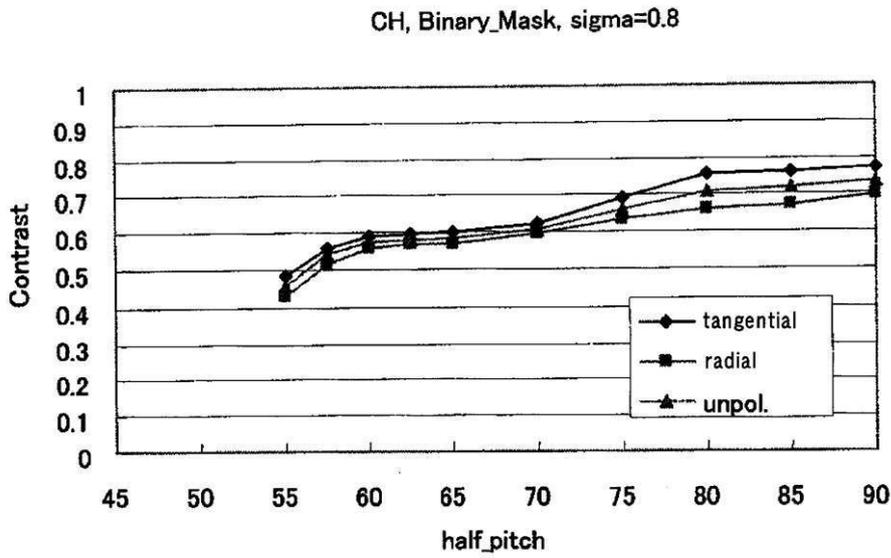
【 10 】



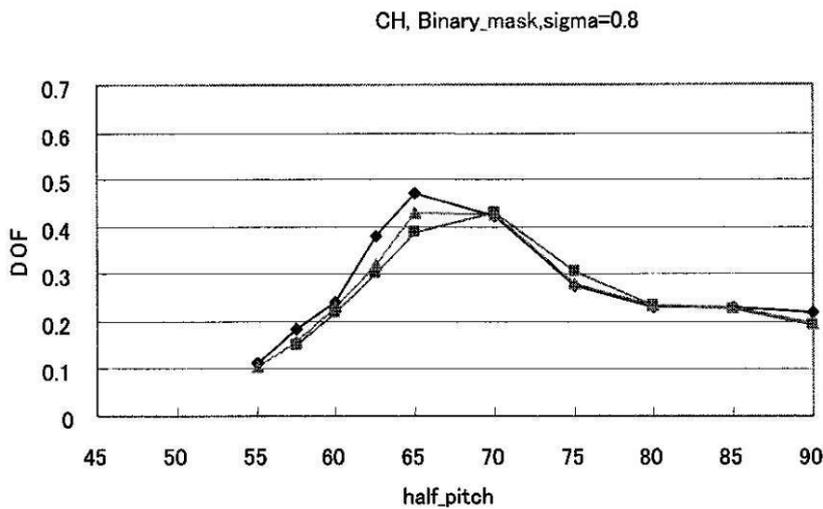
【 1 1 】



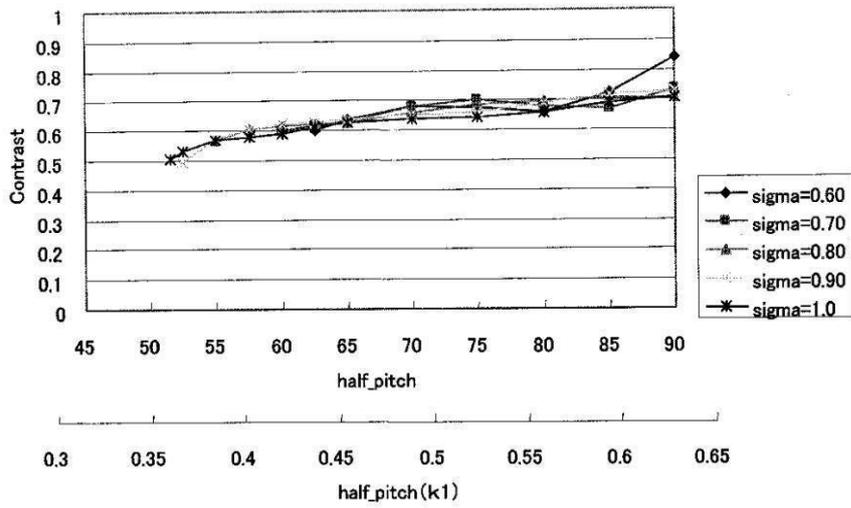
【 1 2 】



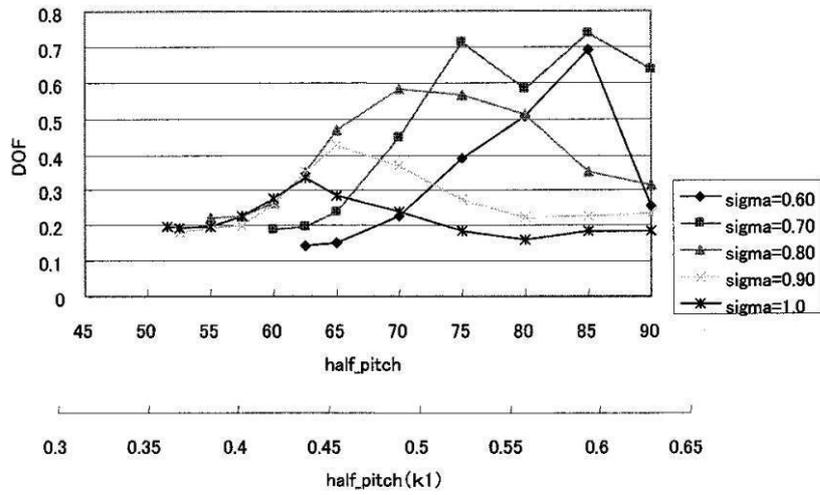
【 1 3 】



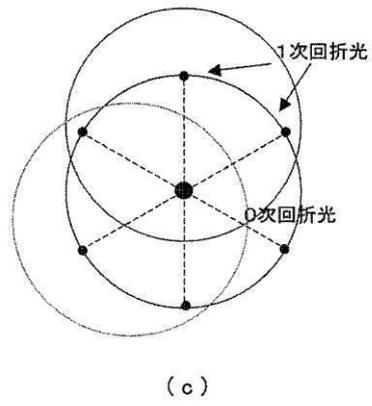
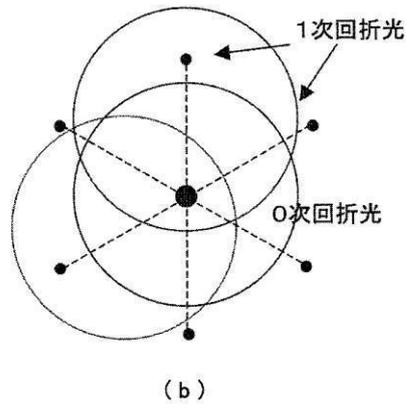
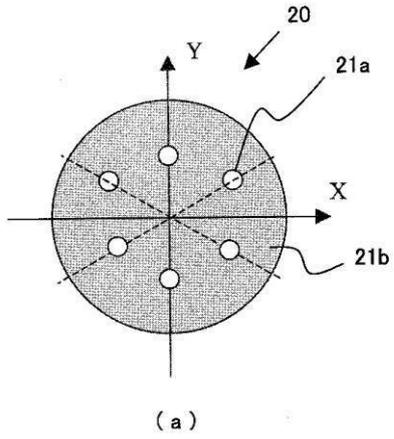
【 1 4 】



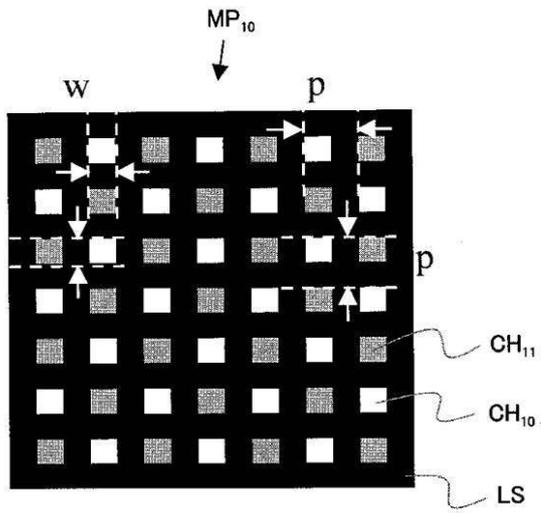
【 1 5 】



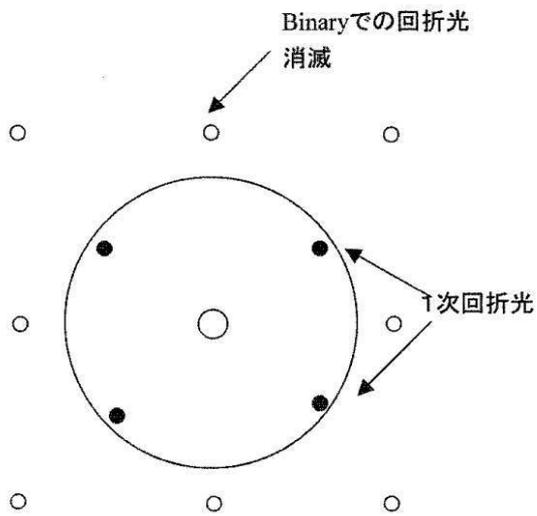
【図16】



【図17】

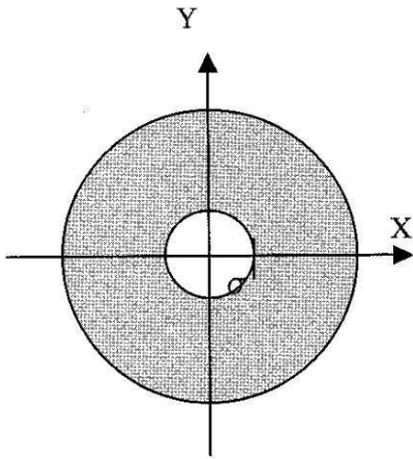


(a)

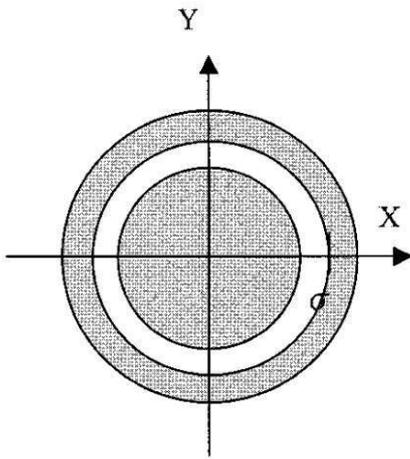


(b)

【 図 18 】

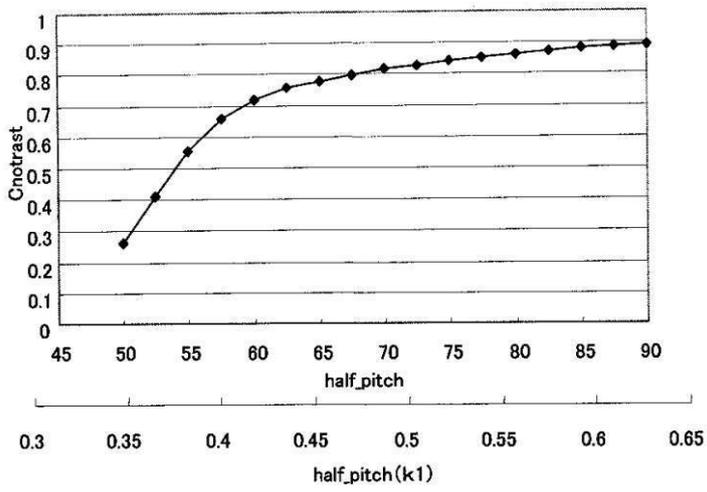


(a)

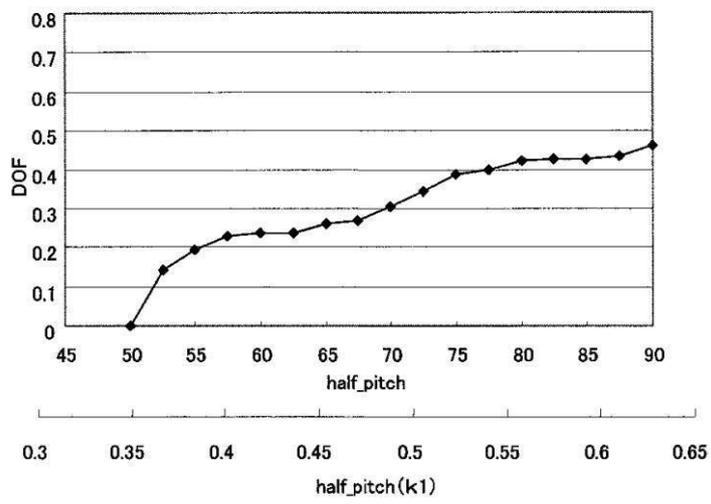


(b)

【 図 19 】

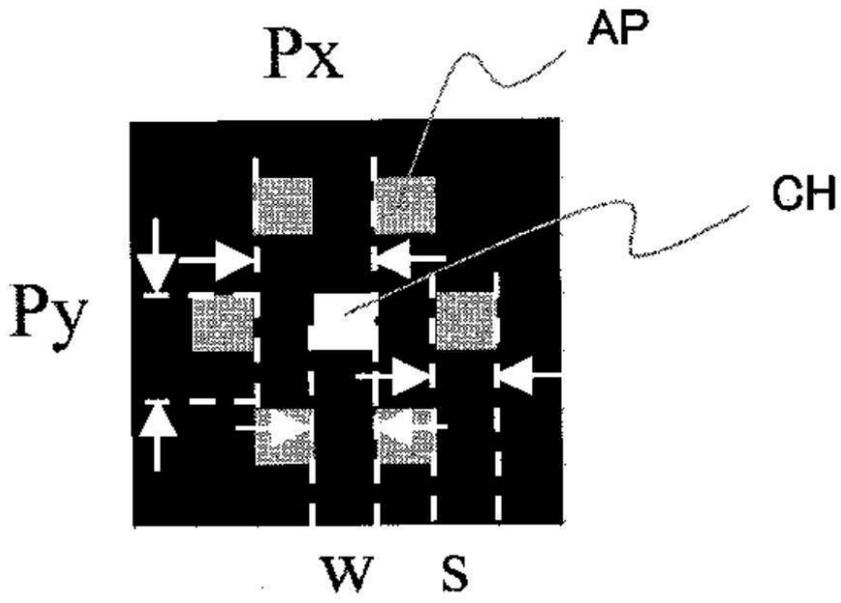


( a )

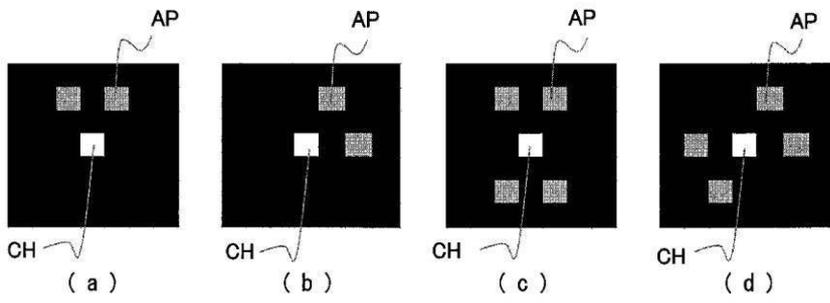


( b )

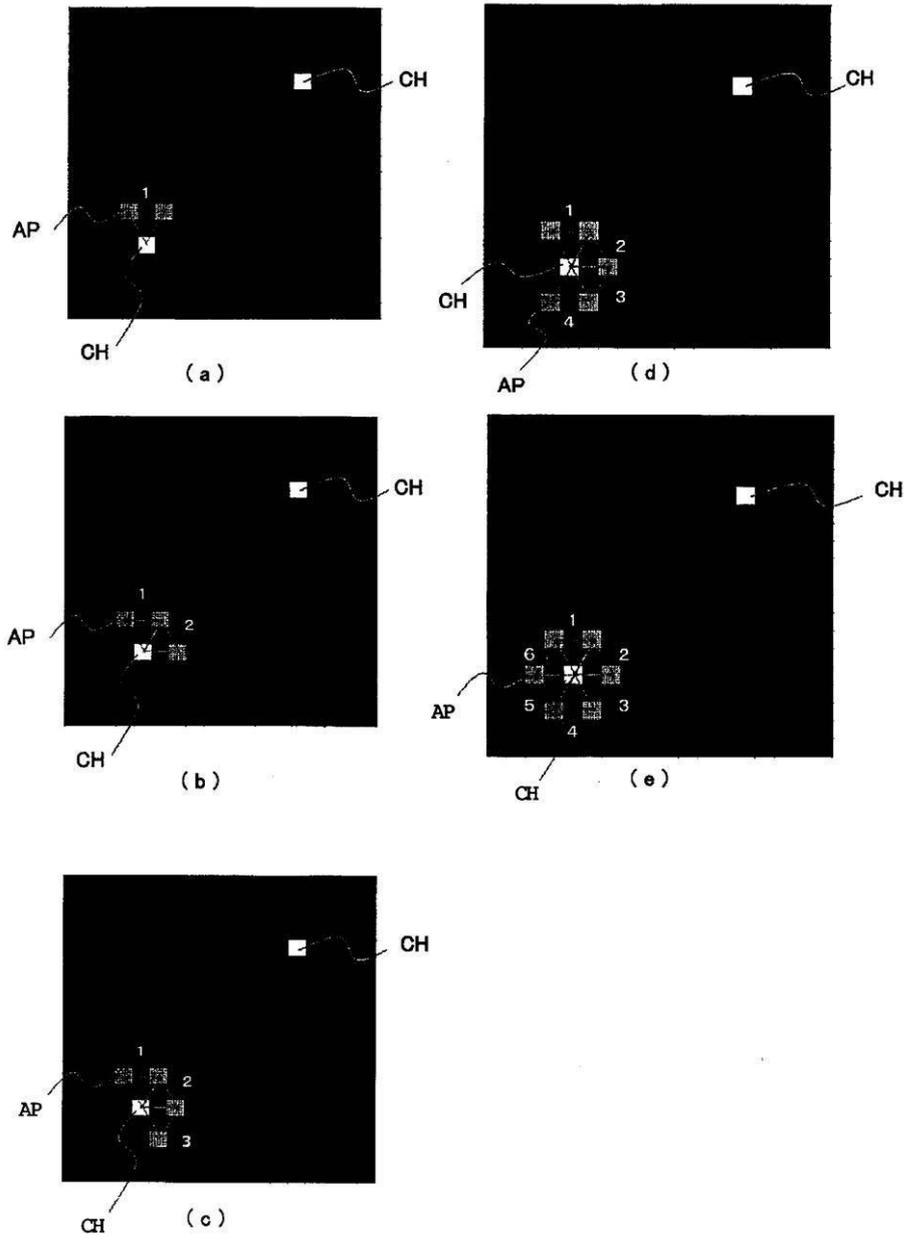
【 図 2 0 】



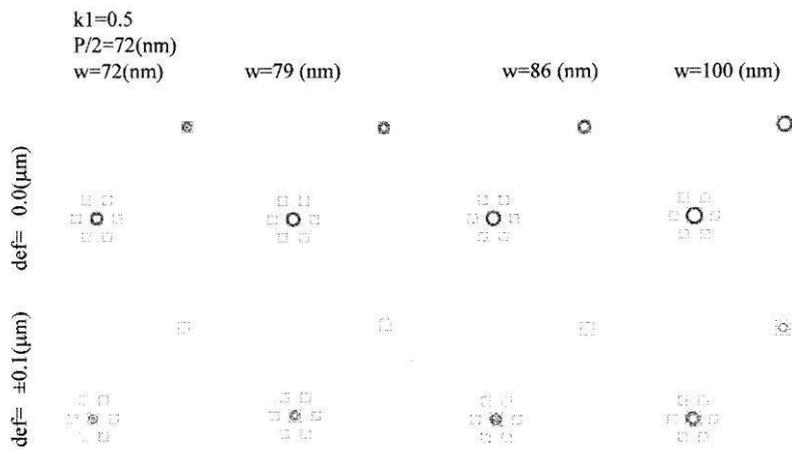
【 図 2 1 】



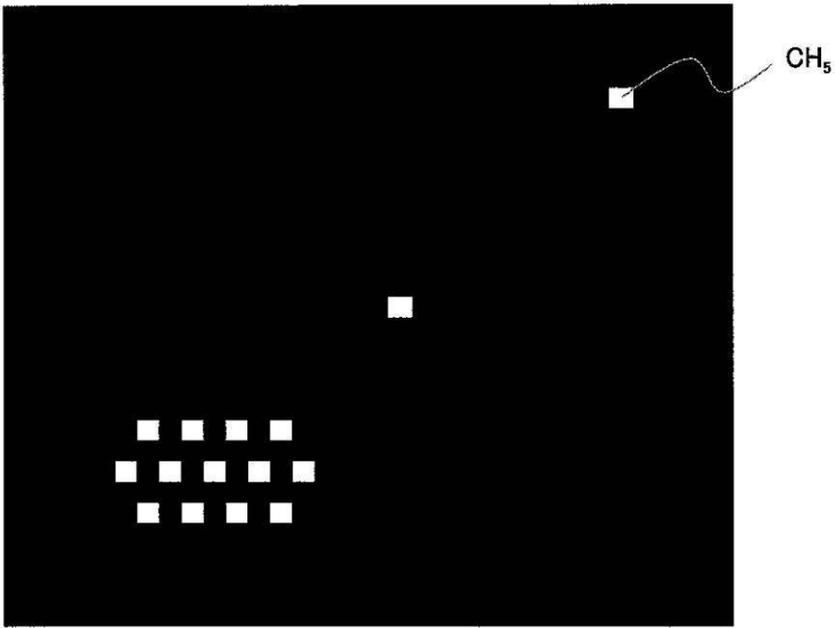
【 図 2 3 】



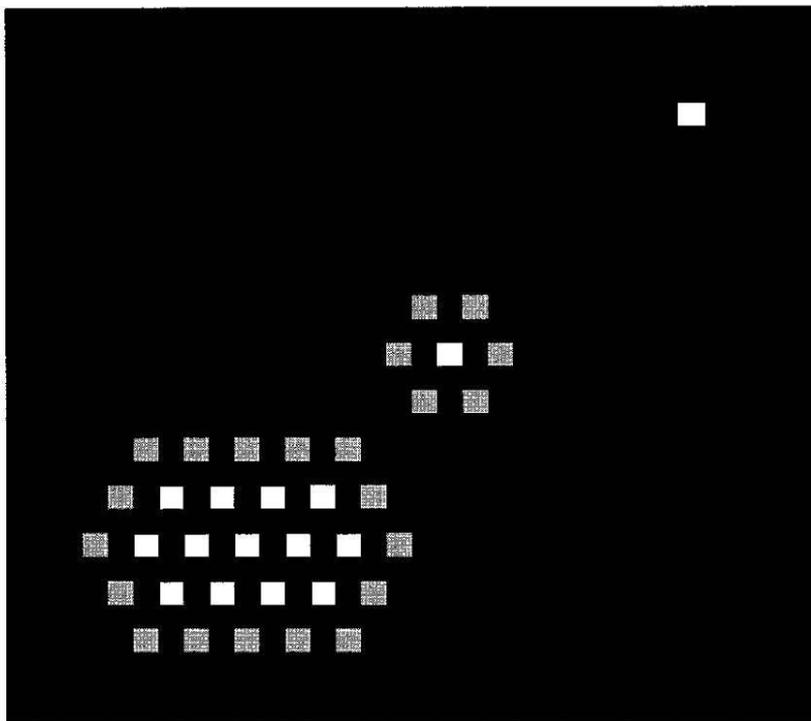
【 図 2 4 】



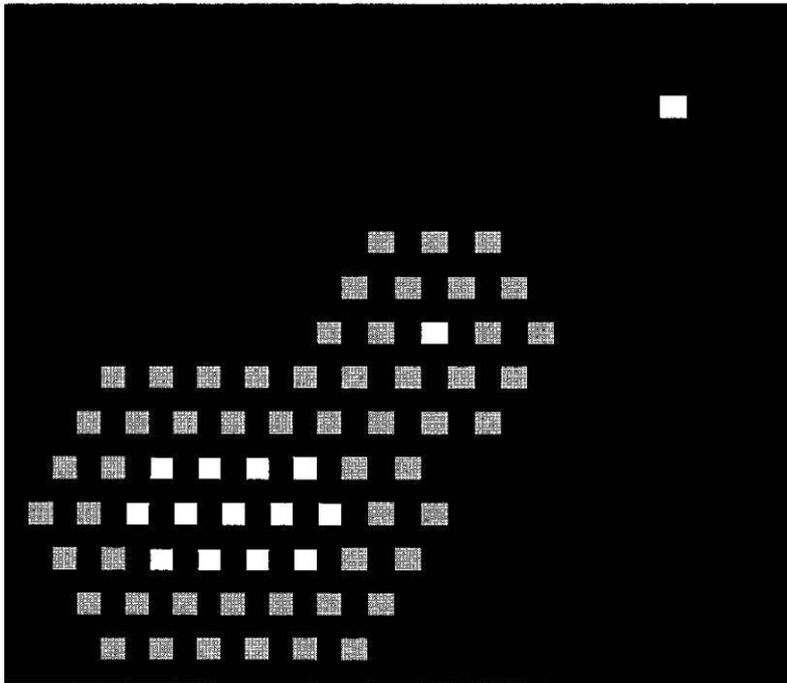
【 2 5】



【 2 6】



【 図 27 】

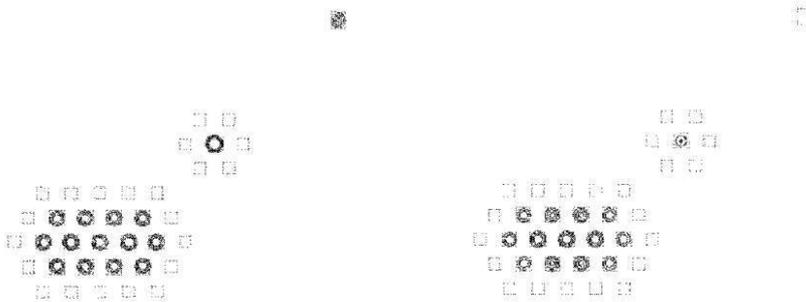


【 図 28 】

$k1=0.5$   
 $P/2=72(\text{nm})$   
 $w=72(\text{nm}), w_i=72*1.06(\text{nm}), s = w_i*0.70(\text{nm})$

def= 0.0(μm)

def= ±0.1(μm)

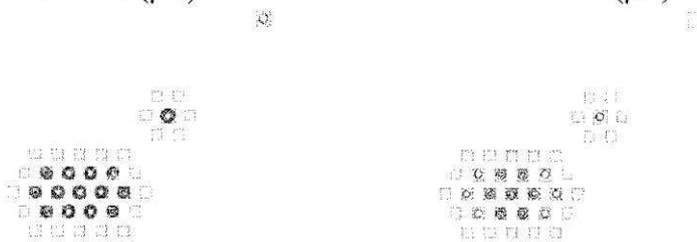


【 図 29 】

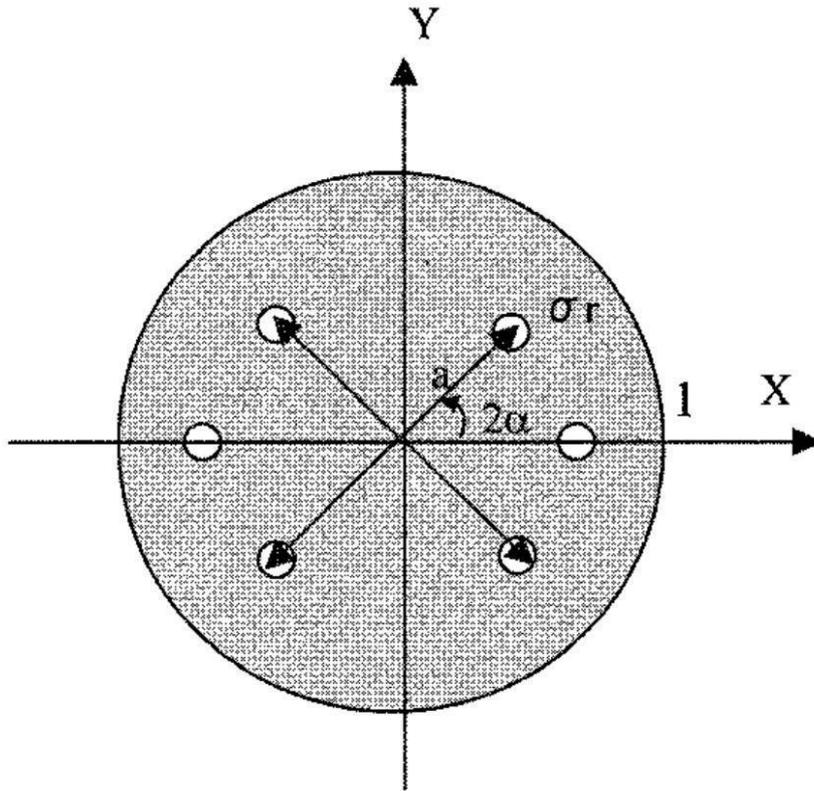
$k1=0.4$   
 $P/2=65(\text{nm})$   
 $w=65(\text{nm}), w_i=65*1.20(\text{nm}), s = w_i*0.75(\text{nm})$

def= 0.0(μm)

def= ±0.1(μm)



【 図 3 1 】

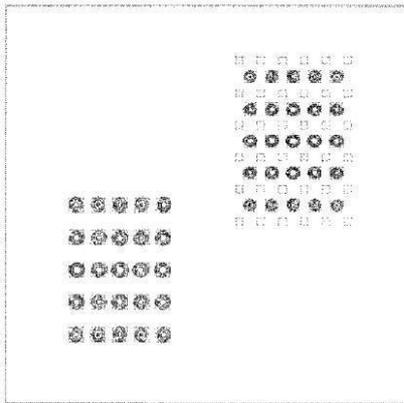


【 図 3 2 】

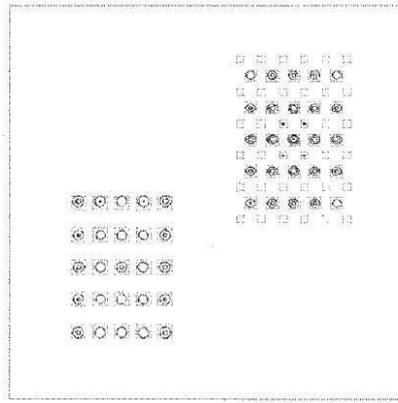
CH=60 (nm)

Focus=0

Focus=±0.06

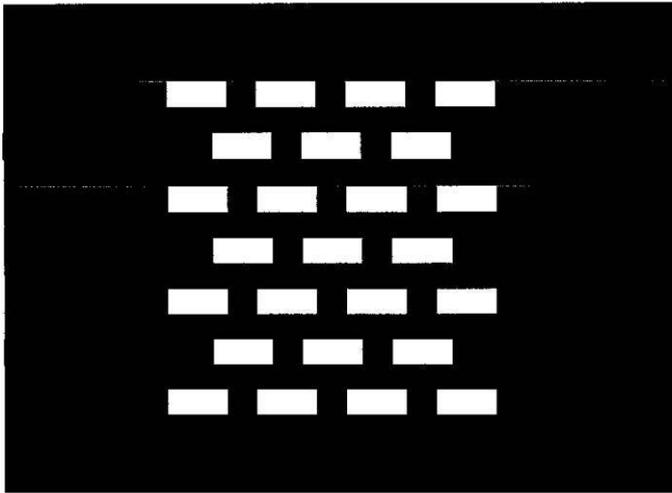


( a )

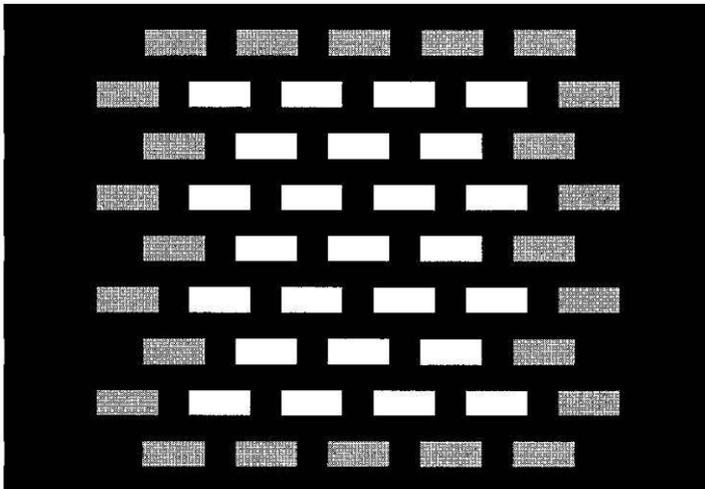


( b )

【図 33】

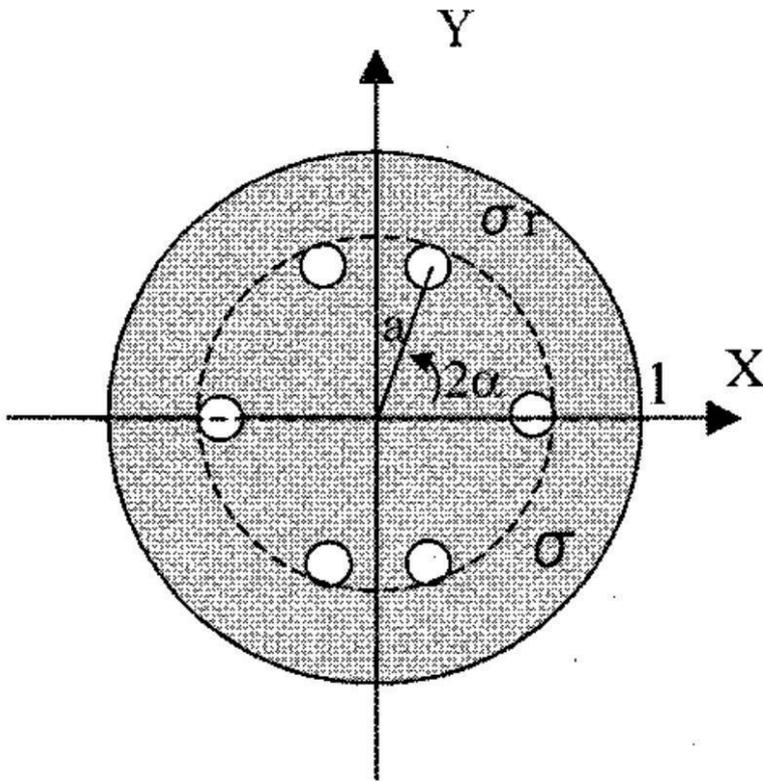


( a )



( b )

【 3 4 】

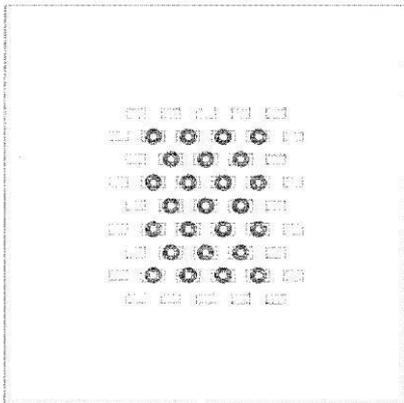


【 3 5 】

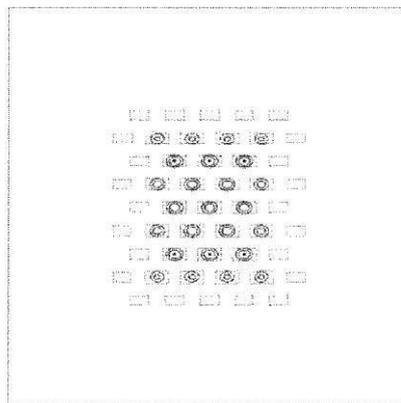
6.5 nmCH

Focus=0

Focus= $\pm 0.1$

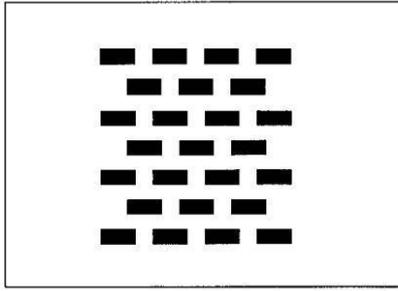


( a )

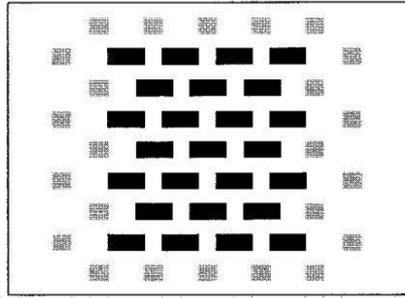


( b )

【 3 6 】



( a )



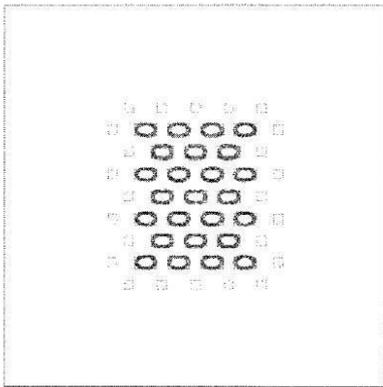
( b )

【 3 7 】

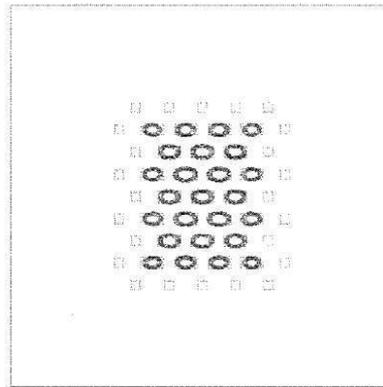
65nm

Focus=0

Focus=±0.1

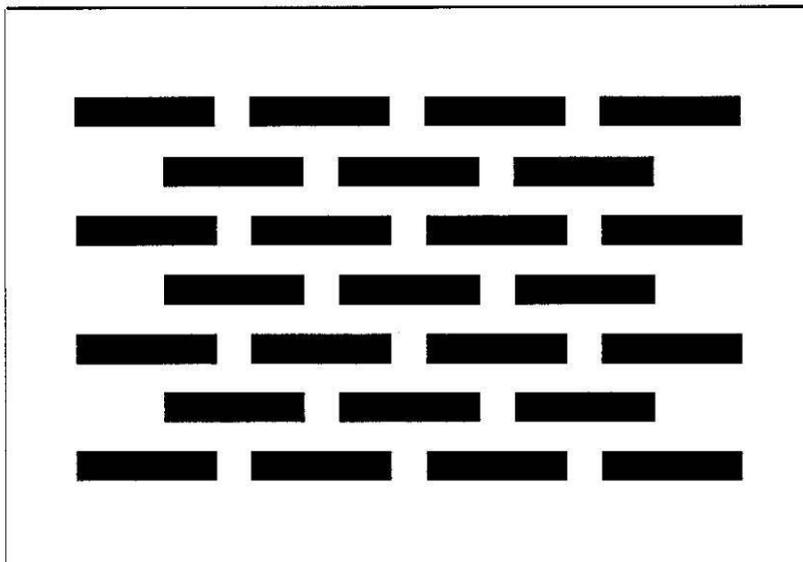


( a )

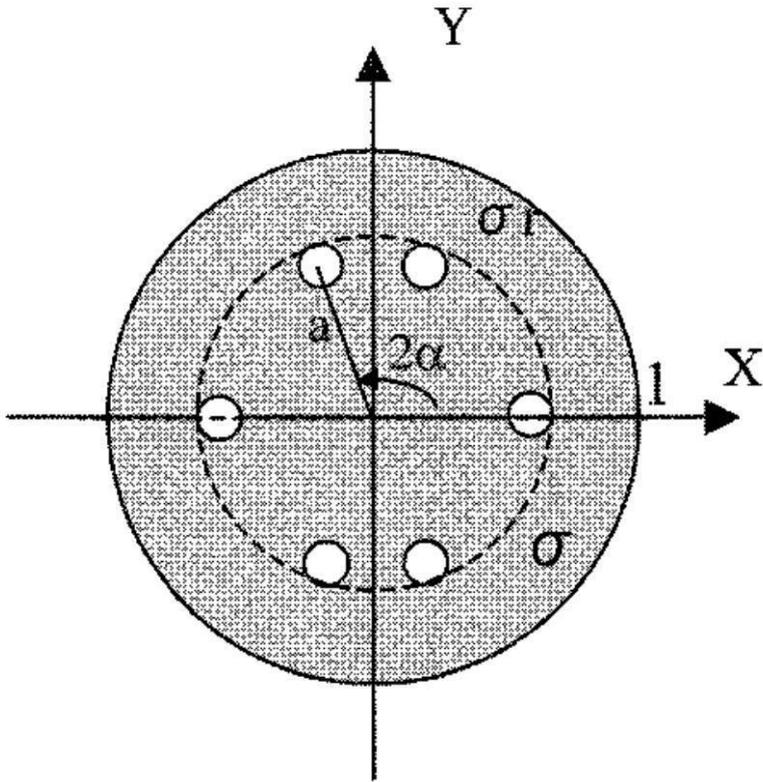


( b )

【 3 8 】



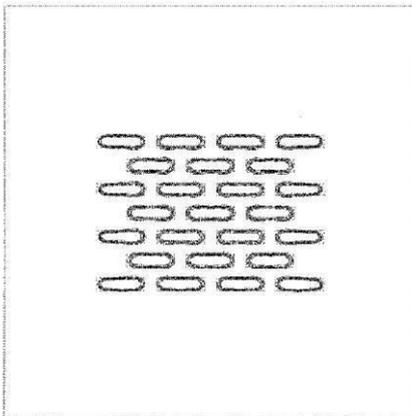
【 39 】



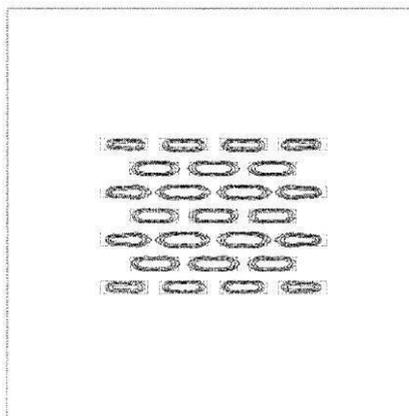
【 40 】

Focus=0

Focus= $\pm 0.1$

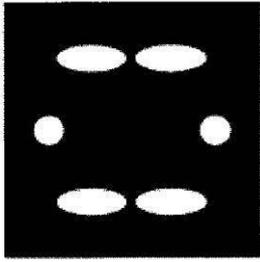


( a )

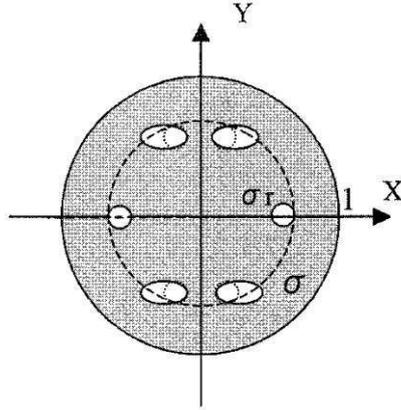


( b )

【 図 4 1 】



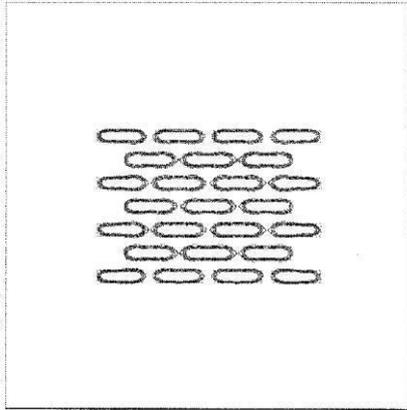
( a )



( b )

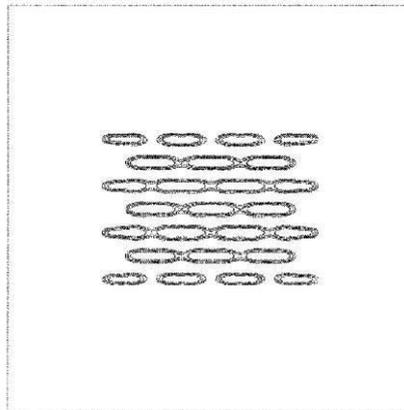
【 図 4 2 】

Focus=0



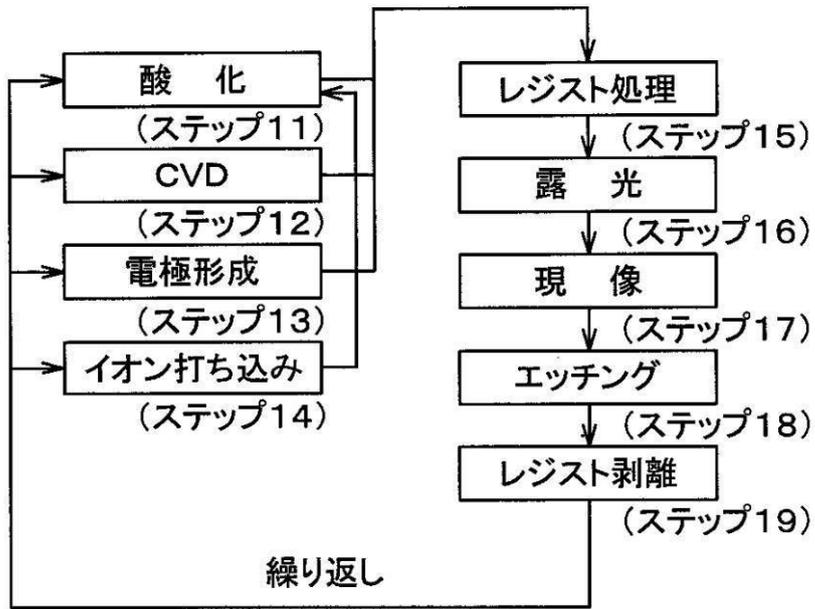
( a )

Focus= $\pm 0.1$



( b )

【図44】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2005-055878(JP,A)  
特開2004-111678(JP,A)  
特開平05-019446(JP,A)  
特開2002-031883(JP,A)  
特表2006-511964(JP,A)  
特開2002-261004(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027  
G03F 1/08 - 1/16