

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4886169号
(P4886169)

(45) 発行日 平成24年2月29日 (2012. 2. 29)

(24) 登録日 平成23年12月16日 (2011. 12. 16)

(51) Int. Cl.

F I

G O 3 F 1/68 (2012. 01)
H O 1 L 21/027 (2006. 01)G O 3 F 1/08 A
H O 1 L 21/30 5 1 5 D

請求項の数 4 (全 48 頁)

(21) 出願番号	特願2004-31547 (P2004-31547)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成16年2月9日 (2004. 2. 9)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2004-272228 (P2004-272228A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成16年9月30日 (2004. 9. 30)	(74) 代理人	100110412
審査請求日	平成19年2月9日 (2007. 2. 9)		弁理士 藤元 亮輔
(31) 優先権主張番号	特願2003-44992 (P2003-44992)	(72) 発明者	山添 賢治
(32) 優先日	平成15年2月21日 (2003. 2. 21)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		ヤノン株式会社内
前置審査		(72) 発明者	斉藤 謙治
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
			ヤノン株式会社内
		(72) 発明者	鈴木 章義
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
			ヤノン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マスク及びその設計方法、露光方法、並びに、デバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のコンタクトホールパターンと、前記複数のコンタクトホールパターンよりも寸法が小さい複数の補助パターンとを有するマスクであって、

前記マスクはバイナリマスク又はハーフトーンマスクであって、前記複数のコンタクトホールパターン及び前記補助パターンの位相は同じであり、

前記複数の補助パターンは、第1の補助パターンと複数の第2の補助パターンを含み、前記複数のコンタクトホールパターンの中心と前記第1の補助パターンの中心は直線上に等間隔に配置され、

前記複数の第2の補助パターンの中心は、前記複数のコンタクトホールパターンのうち2つの隣接したパターンの中心から等距離にあり、

前記複数の第2の補助パターンは、前記直線と前記第2の補助パターンの中心との距離が前記複数のコンタクトホールの周期に等しく、前記複数のコンタクトホールパターンの周期と同じ周期で前記直線の両側の前記直線と平行な直線上に配置されていることを特徴とするマスク。

【請求項 2】

前記複数のコンタクトホールパターンが解像され且つ前記複数の補助パターンの解像が抑制されるように請求項1に記載の前記マスクを斜入射照明で照明し、前記マスクからの光で被処理体を露光することを特徴とする露光方法。

【請求項 3】

10

20

複数のコンタクトホールパターンと、

第 1 の補助パターンと複数の第 2 の補助パターンを含み、前記複数のコンタクトホールパターンよりも寸法の小さな複数の補助パターンとを有するマスクの設計方法であって、

前記マスクはバイナリマスク又はハーフトーンマスクであって、前記複数のコンタクトホールパターン及び前記補助パターンの位相を同じとして、

前記コンタクトホールパターンの中心と前記第 1 の補助パターンの中心が直線上に等間隔に並ぶように前記第 1 の補助パターンを配置するステップと、

前記複数の第 2 の補助パターンの中心が、前記複数のコンタクトホールパターンのうち 2 つの隣接したパターンの中心から等距離となり、前記直線と前記第 2 の補助パターンの中心との距離が前記複数のコンタクトホールの周期に等しく、前記複数のコンタクトホールパターンの周期と同じ周期で前記複数の第 2 の補助パターンを前記直線の両側の前記直線と平行な直線上に配置するステップを有することを特徴とするマスク設計方法。

10

【請求項 4】

請求項 1 に記載のマスクを用いて前記被処理体を露光するステップと、
前記露光された被処理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、IC、LSIなどの半導体チップ、液晶パネルなどの表示素子、磁気ヘッドなどの検出素子、CCDなどの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マスク及びその製造方法、露光装置及び方法、デバイス製造方法、並びに、被露光体から製造されるデバイスに関する。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。

20

【背景技術】

【0002】

フォトリソグラフィ技術を用いてデバイスを製造する際に、マスク（レチクル）に描画されたパターンを投影光学系によってウエハに投影してパターンを転写する投影露光装置が従来から使用されている。投影光学系はパターンからの回折光をウエハ上に干渉及び結像させ、通常の露光ではパターンからの 0 次及び ± 1 次の回折光（即ち、三光束）を干渉させる。

30

【0003】

マスクパターンは、近接した周期的なラインアンドスペース（L & S）パターン、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、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等を含むが、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（照明条件や露光量など）を選択する必要がある。

【0004】

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

40

【0005】

【数 1】

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

【0006】

ここで、 k_1 は現像プロセスなどによって定まる定数であり、通常露光の場合には k_1 は約 0.5 ~ 0.7 である。

50

【 0 0 0 7 】

近年のデバイスの高集積化に対応して、転写されるパターンの微細化、即ち、高解像度化が益々要求されている。高解像力を得るには、上式から開口数 NA を大きくすること、及び、波長 を小さくすることが有効であるが、これらの改善は現段階では限界に達しており、通常露光の場合にウエハに $0.15 \mu m$ 以下のパターンを形成することは困難である。そこで、パターンを経た回折光の中のうち二光束を干渉及び結像させる位相シフトマスク技術が従来から提案されている（例えば、特許文献 1 参照。）。位相シフトマスクは、マスクの隣接する光透過部分の位相を 180° 反転することによって 0 次回折光を相殺し、2 つの ± 1 次回折光を干渉させて結像するものである。かかる技術によれば、上式の k_1 を実質的に 0.25 にすることができるので、解像度 R を改善してウエハに $0.15 \mu m$ 以下のパターンを形成することができる。

10

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2 0 0 2 / 1 7 7 0 4 8 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 8 】

しかし、解像限界に近いコンタクトホールの場合には隣り合う位相を 180 度変えようと回折光が瞳面上では 45 度の方向で、光軸から大きな角度で回折される為、投影系の瞳から外へ飛び出してしまい、投影レンズの瞳を通ることができず、解像されない。解像できるのは、 $L \& S$ の限界線幅の 2 倍の微細パターンまでである。

【 0 0 0 9 】

20

近年の半導体産業は、より高付加価値な、多種多様なパターンが混在するシステムチップに生産が移行しつつあり、マスクにも複数種類のコンタクトパターンを混在させる必要が生じ、 $L \& S$ パターンの解像度と同等の解像度のコンタクトホールも必要となってきた。しかし、従来の位相シフトマスク技術だけではコンタクトホール列と孤立コンタクトが混在したコンタクトホールパターンを同時に解像度良く露光できなかった。これに対して、2 枚のマスクを用いて異なる種類のパターンを別々に露光する二重露光（又は多重露光）を使用することが考えられるが、従来の二重露光は、2 枚以上のマスクを必要とするのでコストアップを招き、2 回の露光のためにスループットが低下し、マスク交換 2 回の露光の高い重ね合わせ精度を必要とするため実用上解決すべき問題が多い。

【 0 0 1 0 】

30

そこで、微細な（例えば、 $0.15 \mu m$ 以下の）ホール径を持ち、一又は複数のホールを有するパターンを、マスクを交換せずに、高解像度で露光可能なマスク及びその製造方法、露光方法及び装置を提供することを本発明の例示的目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

本発明の一側面としてのマスクは、複数のコンタクトホールパターンと、前記複数のコンタクトホールパターンよりも寸法が小さい複数の補助パターンとを有するマスクであって、前記マスクはバイナリマスク又はハーフトーンマスクであって、前記複数のコンタクトホールパターン及び前記補助パターンの位相は同じであり、前記複数の補助パターンは、第 1 の補助パターンと複数の第 2 の補助パターンを含み、前記複数のコンタクトホールパターンの中心と前記第 1 の補助パターンの中心は直線上に等間隔に配置され、前記複数の第 2 の補助パターンの中心は、前記複数のコンタクトホールパターンのうち 2 つの隣接したパターンの中心から等距離にあり、前記複数の第 2 の補助パターンは、前記直線と前記第 2 の補助パターンの中心との距離が前記複数のコンタクトホールの周期に等しく、前記複数のコンタクトホールパターンの周期と同じ周期で前記直線の両側の前記直線と平行な直線上に配置されていることを特徴とする。

40

【 0 0 1 2 】

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によって明らかにされるであろう。

【発明の効果】

50

【 0 0 1 3 】

本発明によれば、微細なホール径を持ち、一又は複数のコンタクトホールを有するパターンを、マスクを交換せずに、高解像度で露光可能なマスク及びその製造方法、並びに、露光方法及び装置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 】

【 0 0 1 4 】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。以下、露光装置として仮定されているものは、特に断らない限り、光源がKrFエキシマレーザー（露光波長 = 248nm）でその投影光学系の開口数が0.73であり、縮小比4:1の縮小露光装置とする。投影露光装置は、縮小投影露光が一般的である。縮小投影露光の場合、作成したいパターンサイズとマスクパターンは露光装置に依存した倍率だけ異なる。露光装置の倍率はそれぞれの機種において様々であるので、以下においては、マスク上のパターンサイズをウエハ上の寸法に換算する。例えば、投影露光装置の倍率が0.25倍であるとき、120nmのパターンを作成したいとき、実際にはマスク上に480nmのパターンを作成しなくてはならないし、投影露光装置の倍率が0.20倍の場合はマスク上に600nmのパターンを作成しなくてはならない。しかし、以下では、これらの状況に対する区別をなくすためマスクパターンの大きさをウエハ上の寸法に換算し、120nmのパターンと呼ぶ。また、各パターンは一又は複数のコンタクトホールから構成されているが、本出願においては、「パターン」という用語はパターンの一部又は一のコンタクトホールを意味する場合もある。

【 0 0 1 5 】

本発明者らは、バイナリーマスクの所望パターン周辺に、その所望パターンより寸法が小さく、解像しないくらいの大きさの補助パターンを配置し、かつ特殊な斜入射照明を行うことによって微細なコンタクトホールパターンをウエハ等の被露光体に露光することに既に成功している。一例をあげると、図3(c)のような所望パターンにおいて、ホール径は100nm、最小ホール間隔も100nmであったとする。

【 0 0 1 6 】

上述の投影露光装置を使用した場合、通常では、図3(a)に模式的に示したように、所望パターンに応じて透光部31と遮光部33を配置したマスクを用いて、円形状の照度分布の有効光源を有する照明でそのマスクを照明することにより、ウエハを露光するが、この方法ではパターンは解像しない。対して、図3(b)に模式的に示したように、所望パターンに対する透光部31の周囲に微小透光部32を遮光部33に配置したマスクと、図4(a)に示したように、十字型の遮光部42Aを持つ有効光源分布を有する照明系により、ウエハを露光したところパターンが図8に示すように解像した。

【 0 0 1 7 】

図3(b)に示すマスクは、所望パターン31と、その所望パターン31の縦・横方向に周期的に配置され、その所望パターン31よりも寸法が小さく解像しないくらいの大きさの補助パターン32とを有するバイナリーマスクである。図4(a)において、白抜き部41が光照射部を表し、黒で塗りつぶした部分42は遮光部を表す。ウエハはシリコン基盤でレジストとしてTOK-DP746HCを用いて膜厚を350nmとした。

【 0 0 1 8 】

かかる露光方法は、所望のコンタクトホールパターンと、当該パターンのホール径よりも小さなホール径を有するダミーコンタクトホールパターンとが配列されたマスクを形成し、所望コンタクトホールパターン部のみを解像させるものである（本出願ではかかる露光方法を露光方法Iと呼ぶ場合もある）。また、本発明者らは、露光方法Iに使用される有効光源形状として、図4(b)、(c)、(d)に示したような照明を用いても同様の結果を得られることを確認した。

【 0 0 1 9 】

露光方法Iの基本的思想は、周期的に補助パターンを配置することである。例えば、図5(a)に示したようなコンタクトホールパターンを露光したいときは、図5(b)のよ

うに所望パターンの縦・横に補助パターンを挿入することが考えられる。上記露光方法は通常の露光方法に比べて焦点深度も大きくなるし、パターン形成に必要な露光量も少なくて済み、そのためにいわゆるスループットも大きい。

【0020】

本発明者らは、更なる解像力の向上、より大きい焦点深度、かつ、スループットの向上のために、上述の露光方法を更に研究した結果、図5(c)のように補助パターンを配置したマスクを用いることが好ましいことを発見した。図5(c)に示すマスクは以下のような幾つかの特徴を有する。まず、所望のコンタクトホールパターンの中心上に交点をもつ直交仮想格子を仮定した場合、直交仮想格子交点とは異なる位置に補助パターンの中心が存在する。次に、直交仮想格子線上において所望のコンタクトホールから見て斜めに配置された補助パターンのうち最も近いコンタクトホールは、後述するように、0度から45度の間(0度より大きく、45度より小さい)にある。更に、所望のコンタクトホールパターンの周期に忠実な仮想格子において一行又は一列おきに、当該パターンよりも寸法が小さな補助パターンを仮想格子の交点からずらして配置している。

10

【0021】

所望パターンの上下左右に補助パターンを挿入するのはごく自然のことにいえる。補助パターンそのものは解像しないものの、補助パターンは所望パターンに影響を及ぼすからこそ解像力が向上するのである。そう考えると、補助パターンを所望パターンの一番近傍、すなわち縦・横に配置するのが一番自然である。しかし、本発明者らは補助パターンを縦・横方向に配置するのではなく、互い違いに配置するほうが焦点深度をより大きくできることを突き止めた。すなわち、図5(a)のようなパターンに対しては、図5(b)のように補助パターンを挿入するのではなく、図5(c)のように補助パターンを配置したほうが焦点深度が大きいことを発見した。

20

【0022】

以下、この原理について説明する。初めに、「通常の配置」と「互い違いな配置」という言葉について定義する。「通常の配置」とは、図6(a)に模式的に示すように、所望パターン61の周期に忠実に仮想格子63を考えて、各格子点に補助パターン62を配置することである。これに対して、「互い違いな配置」とは、図6(b)に模式的に示すように、所望パターン61の周期に忠実な仮想格子63において一行おきに、右もしくは左にずれた位置に補助パターンを配置することである。同様に、所望パターンの周期に忠実な仮想格子において一列おきに、上もしくは下にずれた位置に補助パターンを配置することも互い違いな配置である。

30

【0023】

投影露光装置を使用して図9(a)に示すマスク90Aと図9(b)に示すマスク90Bのパターンをウエハに露光する場合について考える。マスク90Aにおいては、120nmのホールがスペース120nmで5行5列に並んでいる。マスク90Bにおいては、マスク90Aの2行目と4行目のホール列が横に120nmずれている。

【0024】

マスク90A及び90Bをコヒーレントに照明した場合の投影光学系の瞳面上での光の強度分布を見てみると、それぞれ図10(a)及び図10(b)のようになる。図10(a)及び図10(b)に示した座標の値は、 λ/NA で規格化(k_1 換算)してある。なお、図10(a)、(b)において半径1の円は瞳を表してあり、縦方向、横方向からのしかるべき斜入射照明によって、回折光をずらし瞳内に回折光を取り込む様子も同時に表している。

40

【0025】

マスクパターンの違いにより回折光の現れ方も変わるので、瞳への回折光の入り方も変わる。マスク90Aを用いたときは、斜入射照明した場合、図10(c)又は図10(d)のようにしか回折光102が瞳101の中に入らない。これに対して、マスク90Bを用いたときは、斜入射照明した場合、図10(e)又は図10(f)のように3つの回折光102が一直線上には並ばずに瞳101に入ることが理解される。このような瞳内での

50

回折光の分布の違いが結像性能に決定的な違いをもたらすことになる。

【 0 0 2 6 】

まず、縦方向の解像の違いについて説明する。マスク 9 0 A では、縦方向の解像を決定する干渉は主に 2 種類ある。即ち、強度 1 . 0 0 の回折光 1 0 1 a と強度 0 . 4 1 の回折光 1 0 2 a の干渉と、強度 1 . 0 0 の回折光 1 0 1 a と強度 0 . 4 1 の回折光 1 0 3 a の干渉である。これに対して、マスク 9 0 B では、縦方向の解像を決定する干渉は主に 4 種類ある。即ち、強度 1 . 0 0 の回折光 1 0 1 b と強度 0 . 4 1 の回折光 1 0 2 b の干渉、強度 1 . 0 0 の回折光 1 0 1 b と強度 0 . 4 1 の回折光 1 0 3 b の干渉、強度 0 . 3 3 の回折光 1 0 4 b と強度 0 . 3 3 の回折光 1 0 5 b の干渉、及び、強度 0 . 3 3 の回折光 1 0 6 b と強度 0 . 3 3 の回折光 1 0 7 b の干渉である。以上より、マスク 9 0 A と 9 0 B の縦方向の解像を調べると、マスク 9 0 B のほうが、解像に寄与する光量が多いことが理解される。

10

【 0 0 2 7 】

次に、横方向の解像の違いについて説明する。マスク 9 0 A では、横方向の解像を決定する干渉は主に 2 種類ある。即ち、強度 1 . 0 0 の回折光 1 0 1 a と強度 0 . 4 1 の回折光 1 0 4 a の干渉と、強度 1 . 0 0 の回折光 1 0 1 a と強度 0 . 4 1 の回折光 1 0 5 a の干渉である。これに対して、マスク 9 0 B では、縦方向の解像を決定する干渉は主に 4 種類ある。即ち、強度 1 . 0 0 の回折光 1 0 1 b と強度 0 . 3 3 の回折光 1 0 4 b の干渉、強度 1 . 0 0 の回折光 1 0 1 b と強度 0 . 3 3 の回折光 1 0 5 b の干渉、強度 1 . 0 0 の回折光 1 0 1 b と強度 0 . 3 3 の回折光 1 0 6 b の干渉、及び、強度 1 . 0 0 の回折光 1 0 1 b と強度 0 . 3 3 の回折光 1 0 7 b の干渉である。以上より、マスク 9 0 A と 9 0 B の横方向の解像を調べてみても、マスク 9 0 B のほうが解像に寄与する光量が多いことがわかる。

20

【 0 0 2 8 】

次に、マスクの違いによるパターン形成について説明する。まず、マスク 9 0 A によるパターン形成の様子を図 1 0 (g) に示す。回折光 1 0 1 a と回折光 1 0 2 a から生じた干渉、もしくは回折光 1 0 1 a と回折光 1 0 3 a から生じた干渉が光強度分布 1 0 3 g を形成し、縦方向のパターン形成に寄与する。回折光 1 0 1 a と回折光 1 0 4 a から生じた干渉、もしくは回折光 1 0 1 a と回折光 1 0 5 a から生じた干渉は光強度分布 1 0 2 g を形成するので横方向のパターン形成に寄与する。光強度分布 1 0 2 g と光強度分布 1 0 3 g は正弦波状の強度分布を持っているので、それらが互いに重なりあうとパターン 1 0 1 g は概略的に菱形になってしまうことが理解される。

30

【 0 0 2 9 】

次に、マスク 9 0 B によるパターン形成の様子を図 1 0 (h) に示す。回折光 1 0 1 b と回折光 1 0 2 b から生じた干渉、もしくは回折光 1 0 1 b と回折光 1 0 3 b から生じた干渉、もしくは回折光 1 0 4 b と回折光 1 0 5 b から生じた干渉、もしくは回折光 1 0 6 b と回折光 1 0 7 b から生じた干渉が光強度分布 1 0 2 h を形成し、縦方向のパターン形成に寄与する。回折光 1 0 1 b と回折光 1 0 5 b から生じた干渉、もしくは回折光 1 0 1 b と回折光 1 0 6 b から生じた干渉は光強度分布 1 0 3 h を、回折光 1 0 1 b と回折光 1 0 4 b から生じた干渉、もしくは回折光 1 0 1 b と回折光 1 0 7 b から生じた干渉は、光強度分布 1 0 4 h を形成するので、それぞれ斜め方向の解像に寄与する。光強度分布 1 0 2 h、光強度分布 1 0 3 h、そして、光強度分布 1 0 4 h は正弦波状強度分布を持っているため、それらが互いに重なり合うとパターン 1 0 1 h は概略的に六角形になる。

40

【 0 0 3 0 】

本来、コンタクトホールはマスクパターンに忠実に四角形になることが望ましい。しかし、露光の性質上角が丸まって円形ホールができてしまう。このように実際のホール形状が四角形からずれてしまう現象はある程度やむを得ない。しかるに、図 1 0 (c) に示すように、菱形のホールが形成されてしまうと、もともと期待していた四角形又は円形のホールよりもホールの面積がかなり小さくなってしまふ。一方、図 1 0 (d) に示すように、六角形のホールだと菱形より面積が大きくなり、本来求めていたホールの面積に近づく

50

ためにより好ましいことが理解される。

【0031】

上記の結果より、所望パターンの縦・横方向にだけ補助パターンを挿入するのではなくて互い違いに補助パターンを挿入したほうがよいことがわかる。

【0032】

このように補助パターンを配置したとき、マスクがバイナリマスク、もしくはハーフトーンマスクのときは中心部が暗い照明を用いるのが効果的である。中心部が暗い照明とは、図4(e)に示す輪帯照明や図4(f)に示す四重極照明、更には、図4(a)乃至(d)に示すような照度分布を有する有効光源を形成する照明のことである。特に、図4(a)乃至(d)記載の照明を用いる場合、0度方向と90度方向に明るい部分がある。つまり、有効光源分布の形状を換算すると、0度方向と90度方向に関して約 $1/(4 \times \quad)$ の部分が明るくなっている。ただし、ここでの \quad は、仮想格子の半周期を k_1 換算したもの(=半周期 $\times NA / \quad$)であり、ここで言う「約」とは換算して、 ± 0.05 の範囲である。隣り合うホールの位相差が180度であるような位相シフトマスクに対しては、いわゆる小照明でよい。

10

【0033】

本実施形態において仮想格子が求めれば互い違いの配置で補助パターンを挿入することが可能となる。以下、仮想格子の決定方法を図23を参照して説明する。ここで、図23は、仮想格子の決定方法を説明するためのフローチャートである。

【0034】

投影露光装置の解像力は、0.25と2という数字を境に変化することが多い。そのため、図23においては g_1 を0.25以上0.25 \times 2以下、 g_2 を0.25 \times 2以上0.5以下、 g_3 を1.0以上2以下、 g_4 を0.5 \times 2以上1.0以下、 g_5 を0.25以上0.25 \times 2以下とすればよい。なお、図8の実験結果は、 g_1 、 g_2 、 g_3 、 g_4 、 g_5 の値をそれぞれ0.29、0.40、1.20、0.80、0.25としたときのものである。孤立パターンに仮想格子を設定するには、孤立パターンを適当な仮想格子上に載せて、互い違いの配置をすればよい。基本的に仮想格子の半周期は孤立パターンと同じにするとよいが、少し離れたところにある周期的なパターンが存在するときはその周期に合わせてもよい。

20

【0035】

まず、所望のパターンのホール径 D を k_1 換算したもの(つまり、 $D \times NA / \quad$)が第1の閾値 g_1 未満であるかどうかを判断する(ステップ1202)。ステップ1202が、そうであると判断すれば異常終了する(ステップ1204)。一方、ステップ1202がそうでないと判断すれば、所望のパターンのホール径が第1の閾値 g_1 以上第2の閾値 g_2 以下であるかどうかを判断する(ステップ1206)。ここで、周期パターンの周期を P_1 とする。

30

【0036】

ステップ1206が、第1の閾値 g_1 以上第2の閾値 g_2 以下であると判断した場合は、 $P_2 = P_1$ とおいた後、「Part I」に進み、更に P_2 を k_1 換算した場合に第3の閾値 g_3 以上であるかどうかを判断する(ステップ1210)。

40

【0037】

ステップ1210が第3の閾値 g_3 以上ではないと判断した場合に、仮想格子の周期を P_2 と決定する(ステップ1212)。ステップ1210が第3の閾値 g_3 以上であると判断すれば、 $i = i + 1$ とおいて(ステップ1214)、 P_1 を i 分割したものを P_2 として(ステップ1216)、ステップ1210に帰還する。最終的には、仮想格子の周期を P_2 と決定する(ステップ1212)。

【0038】

ステップ1206が第1の閾値 g_1 以上第2の閾値 g_2 以下でないと判断した場合に、 $P_2 = P_1$ とおいた後、「Part II」に進み、更に P_2 を k_1 換算した場合に第4の閾値 g_4 以上であるかどうかを判断する(ステップ1220)。ステップ1220が第4

50

の閾値 g_4 以上であると判断した場合には、 P_2 からホール径 D をひいた値の k_1 換算したものが第 5 の閾値 g_5 以下であるかどうかを判断し (ステップ 1222)、そうでなければ、孤立パターンとして扱うか「Part I」に行く (ステップ 1226)。一方、ステップ 1120 が第 4 の閾値 g_4 以上でないと判断した場合又はステップ 1222 が第 5 の閾値 g_5 以下であると判断した場合には仮想格子の周期を P_2 に決定する (ステップ 1224)。

【0039】

こうして求められた仮想格子において、一行おきに、右もしくは左にずれた位置に補助パターンを配置するか、同様に、所望パターンの周期に忠実な仮想格子において一列おきに、上もしくは下にずれた位置に補助パターンを配置すれば互い違いな配置を作成できる。このときのずらし量であるが、仮想格子の周期の 6 分の 1 以上半分以下であればよい。この点については、後に実施例で紹介する。補助パターンサイズも所望パターンの 50% から 90% 以内にあればよい事が確かめられているが、通常は 75% 程度でよい。

【0040】

このように、非常に効果的な補助パターン挿入方法が明らかになった。以下、補助パターン挿入方法、及びそれに適した照明条件の決定方法を説明する。ここで、図 24 は、マスクパターン及び照明条件を設定する方法を説明するためのフローチャートである。

【0041】

図 24 を参照するに、まず、始めに露光後に形成したいパターンに応じて所望パターンがないところの透過率を 0 とし、所望パターンがあるところの透過率を 1 として対応する所望パターンのデータ (Dpd) を作成する (ステップ 1402)。ここでは、ウエハに露光されるべき所望のパターンの寸法や配列を決定する。

【0042】

次に、所望のパターンの設定後に使用されるマスクの種類 (例えば、バイナリーマスク、ハーフトーンマスク、位相シフトマスクなど) が決定される (ステップ 1404)。

【0043】

ここで、ハーフトーンマスクとは、図 2 (c) に断面図を模式的に示すように、バイナリーマスクの遮光部にあたる部分を、光強度を減衰させ、かつ、透光部との位相差を 180 度に保つような物質 24 に変えたマスクである。ハーフトーンマスクは、バイナリーマスクよりは作成が困難であるが、現在も露光装置に使用されている。また、位相シフトマスクとは、マスクに入射する光が互いに隣り合った透光部を透過する際に、互いにある所定の位相差を持つように設計されたマスクで、通常はこの位相差を 180 度になるように設計する。図 2 (a) は位相シフトマスクの断面構造を模式的に示した図で、23 は隣り合う透光部との位相差を 180 度にするために導入された位相シフトである。位相シフトマスクには様々な種類が提案されており、位相シフトマスクの種類によっては、バイナリーマスクよりも約半分の線幅を実現することができる。これは互いに隣り合う光が位相差 180 度を保つことによって、互いに隣り合う光の中心部の振幅を打ち消し合うためである。

【0044】

次いで、所望のパターンのデータに対して、挿入されるべき補助パターン (ダミーコンタクトホールパターン) と照明方法を決定する (ステップ 1406)。

【0045】

補助パターンの寸法は、 Dpd をもとに必要なダミーコンタクトホールパターンデータ (Dum) を引き出し、露光方法 I に適したマスクデータ (Fpd) を作成する第 1 のステップ、論理演算をもとに Dum データを作成し、 Fpd を作成する第 2 のステップ、 Fpd がマスクパターン設計ルールを満たしているかを判定する第 3 のステップを含む。通常は第 1 又は第 2 のステップあるいはその両方のステップ、第 3 のステップの順で必要に応じて繰り返される。

【0046】

なお、本発明は所望のパターンが周期パターンであっても孤立パターンであっても適用

することができる。ここで、「周期パターン」とは、直交2方向のいずれかの方向において整列する、少なくとも2つのコンタクトホールを有するパターンである。「孤立パターン」とは、一のコンタクトホールのみからなり、直交2方向のいずれの方向においても整列する他のコンタクトホールが存在しないパターンである。

【0047】

照明方法の決定においては、演算を行い、照明条件をチェックし、照明条件が所定の設計ルール内に作成されていれば終了し、照明条件が所定の設計ルール内に作成されていなければ演算ステップに帰還することを所定回数だけ繰り返す。所定回数以内に照明条件の作成が合格と判断されなければ異常として終了する。代替的な照明方法の決定は、データベース（テーブルデータ）を引き出し、照明条件をチェックし、照明条件が所定の設計ルール内に作成されていれば終了し、照明条件が所定の設計ルール内に作成されていなければ演算ステップに帰還することを所定回数だけ繰り返す。所定回数以内に照明条件の作成が合格と判断されなければ異常として終了する。

【0048】

ステップ1406は、後述するステップ1422から処理が帰還された場合に補助パターンの挿入方法及び/又は照明方法を補正する場合にも使用される。

【0049】

次に、所望のパターンがチェックされる（ステップ1408）。ここでは、補助パターンが所望のパターンに挿入されることによって作成されたマスクパターンのデータと照明条件のデータに基づいて、所望のパターンが精度よく形成されるのかが判断される。即ち、ステップ1408は、補助パターンが解像されずに所望のパターンのみが精度良く解像されるかどうかを判断する。精度の度合いは一定の基準に従い決まっているが、使用者が決めても良い。所望のパターンのみが解像される補助パターンや照明条件の候補が複数あれば、コントラストの大きい方、線幅（CD：クリティカルディメンジョン）の誤差ばらつきが小さい方が選択されることが好ましい。

【0050】

ステップ1408が、所望のパターンが解像されないと判断すれば、補正がなされる（ステップ1412）。補正では、所望のパターン、補助パターン、その他が補正される。補助パターン及びその他の補正では、後述するステップ1422によって帰還したステップ1406において主として行なわれるが、微調節であればステップ1412で行われてもよい。

【0051】

所望のパターンの補正は、光学近接補正や後述する実施例1において説明される。光学近接補正（以下、OPC：Optical Proximity Correctionと呼ぶ）は、所望のパターンを精度良く転写可能にするための技術である。

【0052】

例えば、転写されるべきパターンが所望の大きさより小さく作成されてしまうときのOPCを考える。図25（a）及び（b）において、点線は所望のホール径であるが、他のパターンとの露光量の関係で所望の大きさより小さいパターンができてしまうので図25（a）及び（b）における実線部のようにマスクパターンを変更すればよい。図25（a）記載のOPC技術は、パターンが疎であるときに有効であり、図25（b）記載のOPC技術は、パターンが密でマスクパターンを大きくすることが困難なときに有効であるがマスクデータが大きくなるという欠点もある。

【0053】

また、補助パターンの寸法や形状を変更することも所望のパターンの補正につながる。例えば、所望のパターンの寸法が所望値より小さい場合、所望のパターンの周辺に配置された補助パターンの寸法を大きくしたり配置する周期（ピッチ）を小さくしたりする。逆に、所望パターンの寸法が所定値より大きい場合、所望のパターンの周辺に配置された補助パターンの寸法を小さくしたり配置する周期（ピッチ）を大きくしたりするなどの方法もある。

【0054】

所望のパターンの周辺に配置された補助パターンのホール数を変更しても所望のパターンの補正につながる。例えば、所望のパターンの周辺に配置された補助パターンのホール数を減らせば所望パターンの光量を小さくさせることができ、補助パターンのホール数を増やせば所望のパターンの光量を大きくすることができる。

【0055】

照明条件を変更しても所望のパターンの補正につながる。例えば、バイナリーマスクにおいては図4(b)乃至(d)に示す照度分布を有する有効光源を形成する照明を使用すると、焦点深度を図4(a)よりも更に深くすることができる。その他の補正は、最小ピッチ、マスクの種類、被露光体に塗布されるフォトレジストが感光する閾値、有効光源の
10
コヒーレンスファクター を変更してもよい。例えば、位相シフトマスクは焦点深度を延ばしたり、線幅誤差ばらつきを多少低減したりする効果があるのでバイナリーマスクで焦点深度が足りない場合には位相シフトマスクを変更することも効果的である。

【0056】

補正後に所望のパターンが再度チェックされる(ステップ1414)。ステップ1408のチェックと同様に、補助パターンが解像されずに所望のパターンのみが精度良く解像されるかどうかを判断する。依然として、ステップ1414のチェックに合格しなければ、ステップ1412に帰還する処理が所定回数(kmax)繰り返される(ステップ1416、1418)。所定回数kmaxを超えるとステップ1406に帰還する処理が所定回数jmaxだけ繰り返される(ステップ1420、1422)。
20

【0057】

ステップ1408又は1414によるチェックに合格しなければ処理は異常として終了する(ステップ1424)。ステップ1408又は1414によるチェックに最終的に合格すれば、マスクパターンデータと照明条件が決定される(ステップ1410)。

【0058】

図24に示す方法の大部分はコンピュータが実行可能であるから、作成者は最終的にレジスト上に形成したいパターンを作成して入力するのみで、その後のマスクパターンデータ及び照明条件の生成は上記手順でコンピュータにより自動的に行なうことができるので、大規模な半導体集積回路の設計においても最適なマスクパターン及び照明条件を効率よく作成することができる。膨大なマスクデータを一括して処理しなくとも、マスクパターンデータを分割して処理でき、最後に合成するという方法もとれるため、コンピュータにとっても都合がよい。
30

【0059】

これらの原理はさまざまなパターンに応用できる。それらの例は、以下の実施例において明らかにされるであろう。

【実施例1】

【0060】

本実施形態による開口数 $NA = 0.70$ 、縮小比4:1のArFエキシマレーザー(露光波長193nm)縮小投影露光装置用における投影光学像について説明をする。ホール径の直径が100nm、ホール間隔が100nmで1列に配置してあるパターンをバイナ
40
リーマスクを使用して露光することを考える。

【0061】

図11(a)に模式的に示したマスク110Aは、所望パターン中心と補助パターン中心の距離は縦・横方向ともに200nmで、補助パターン中心と補助パターン中心との距離も縦・横方向ともに200nmであるとする。図11(b)のマスク110Bは、マスク110Aにおいて1行目の横1列の補助パターンと3行目の横1列の補助パターンを、マスク110Aのものと比べて右に100nmずらし、一番右側の補助パターンを削除したもので、いわゆる互い違いに補助パターンを配置してある。

【0062】

バイナリーマスクであるので、マスク110A及び110Bに、図4(a)のような概
50

略形状を持つ照明を用いたときの結果が、それぞれ図 1 1 (c) と図 1 1 (d) である。図 1 1 (c) と図 1 1 (d) の比較により、互い違いに補助パターンを挿入したほうが光量が露光面において強く、焦点深度が大きいことがわかる。加えて、縦・横方向に補助パターンを入れると所望のコンタクトホール 1 1 3 A の外形が菱形のようになることが理解される。これに対して、互い違いに補助パターンを挿入すれば、所望のコンタクトホール 1 1 3 B の外形は円に近くなっていることがわかる。これは、パターン形成に寄与する回折光の分布の違いによるものである。

【 0 0 6 3 】

もし、さらに光量を大きくしたいのならば、図 1 1 (e) 、図 1 1 (f) の如く、所望パターンの周りに 2 周分補助パターンを挿入すればよい。図 1 1 (e) に示したように所望パターンの縦・横方向に補助パターンを挿入するよりも、互い違いに補助パターンを挿入したほうが、更に光量も多く焦点深度が大きいので、図 1 1 (f) に示したように補助パターンを挿入すればよい。

【 0 0 6 4 】

以上のように、互い違いに補助補助パターンを挿入することにより良い転写パターンを与えることが可能となる。本実施例においては、マスクとしてバイナリーマスクを使用した

が、以上の効果はマスクとしてハーフトーンマスクを使用しても同様に得ることができる。

【 実施例 2 】

【 0 0 6 5 】

本実施例は、開口数 $NA = 0.73$ 、縮小比 4 : 1 の KrF エキシマレーザー（露光波長 248 nm）縮小投影露光装置を使用して矩形状のコンタクトホールのパターンをバイナリーマスクで露光した。このように、互い違いに補助パターンを配置する方法は、正方形のコンタクトホールのパターンに限らず、矩形状のコンタクトホールのパターン（ラインパターン）にも適用できることを示す。

【 0 0 6 6 】

照明条件は図 4 (a) に示す照度分布を有する有効光源を形成する条件であり、ターゲットパターンは幅 120 nm、長さ 120 × 13 nm のラインパターンであるとする。図 1 2 (a) は縦・横規則的に補助パターン 1 2 2 を配置したマスク 1 2 0 A で、図 1 2 (b) 及び (c) は互い違いに補助パターンを配置したマスク 1 2 0 B、1 2 0 C である。図 1 2 (a) 乃至 (c) とともに横方向に間隔 240 nm の仮想線がひかれ前記線上に所望パターン 1 2 1 と補助パターン 1 2 2 が配置されているが、図 1 2 (b) 及び (c) では補助パターン 1 2 2 が互い違いになっている。

【 0 0 6 7 】

シミュレーションを行ったところ、マスク 1 2 0 A を用いると、ベストフォーカスで幅 120.0 nm、長さが 1439.8 nm になった。これに対して、マスク 1 2 0 B を用いると、ベストフォーカスで幅 120.0 nm、長さが 1443.7 nm になった。つまり、ベストフォーカス時では互い違いに補助パターンを配置したほうがパターン再現性が良いことが理解される。さらに、デフォーカス 0.3 μm のとき、マスク 1 2 0 A では幅 75.9 nm、長さが 1330.8 nm になった。これに対して、マスク 1 2 0 B では幅 78.3 nm、長さが 1342.3 nm になった。つまり、互い違いに補助パターンを配置したほう

はデフォーカス時でも通常の補助パターン配置より優位性があることがわかる。

【 0 0 6 8 】

さらに特筆すべきは、通常の配置では補助パターンを 36 個配置したのに対し、互い違いの配置では補助パターンを 32 個しか配置していない。かつ、補助パターンを含めたマスクパターン領域の大きさを比較すると、通常の配置ではマスクパターン領域 1 2 3 a は 1080 nm × 2040 nm であるのに対し、互い違いの配置ではマスクパターン領域 1 2 3 b は 1080 nm × 1920 nm と小さい。

【 0 0 6 9 】

パターン再現性、パターン領域、補助パターンの個数、それぞれの比較により互い違いの補助パターン配置はラインパターンにも効果的であることがわかる。なお、マスク 1 2 0 B と 1 2 0 C は同様の効果をもっている。

【 0 0 7 0 】

同様の効果は短いラインパターンのときにも当てはまる。例えば、短いラインパターンを図 4 (a) のような有効光源分布を形成するような照明でマスクを照明する場合は、図 1 3 (a) もしくは (b) のように補助パターンを挿入することも考えられるが、このような場合にも互い違いの補助パターン配置を適用することができ、例えば、図 1 3 (c) もしくは (d) のように補助パターンを配置すればよい。図 1 3 (c) もしくは (d) における補助パターン間隔 d_1 であるが、これは所望パターンサイズ及び補助パターンサイズによって決まるものである。大抵の場合は、波長を開口数で割った値の 4 分の 1 以上の値にするのがよい。マスクを設計どおりに作成できるのであれば、波長を開口数で割った値の 8 分の 1 くらいでも問題ないことを本発明者らは確認した。

10

【 0 0 7 1 】

本実施例では、ラインパターンへの補助パターン挿入方法の一例をあげたにすぎず、本実施例のラインパターンよりさらに長いラインパターンやさらに短いラインパターン、そして、本実施例のようにバイナリーマスクだけでなく、ハーフトーンマスクにも本発明を適用することが可能である。

【 実施例 3 】

【 0 0 7 2 】

20

パターン配置を互い違いにすることにより、回折光の現れ方が異なることが原因で結像性能が良くなることは、図 9 を使って説明したとおりである。本実施例では、バイナリーマスクを例にとりパターン配置をどれくらい変化させれば回折光の現れ方が変化するか調べた。

【 0 0 7 3 】

今、開口数 $NA = 0.73$ 、縮小比 4 : 1 の KrF エキシマレーザー（露光波長 $\lambda = 248\text{ nm}$ ）縮小投影露光装置を仮定する。図 1 4 (a) のようなマスクパターンは、その径が 120 nm のホールがスペース 120 nm で 5 行 5 列に並んでいるとする。対して、図 1 4 (b) では図 1 4 (a) の 2 行目と 4 行目のホール列の各ホールが 1 行目と 3 行目のホール列に比べて横に d_2 だけ相対的にずれているとする。

30

【 0 0 7 4 】

図 1 5 (a) は、 d_2 が 0 nm のマスクを照明した際の投影系の瞳面上での照明光の強度分布、図 1 5 (b) は d_2 が 40 nm のマスクを照明した際の投影系の瞳面上での照明光の強度分布、図 1 5 (c) は d_2 が 80 nm のマスクを照明した際の投影系の瞳面上での照明光の強度分布、そして、図 1 5 (d) は d_2 が 120 nm のマスクを照明した際の投影系の瞳面上での照明光の強度分布である。なお、図 1 5 の瞳面座標の値は、 λ/NA で規格化しており、図中の黒丸が回折光を表し、その黒丸の大きさは回折光の強度を表している。

【 0 0 7 5 】

上記 4 種類の回折光の分布と強度を調べると、 d_2 が 40 nm 以上のときは、 d_2 が 0 nm のときと比べて回折光の分布の変化が顕著になり、 d_2 が 0 nm のときより光量が多くなることを突き止めた。

40

【 0 0 7 6 】

つまり、所望パターンより形成することが出来る仮想格子の周期に対して、ずらし量が周期 p_1 の 6 分の 1 以上、6 分の 5 以下になるようにある方向に位置をずらして互い違いに補助パターンを配置することによって、通常の補助パターン配置よりも結像性能を向上させることができる。ずらし量が周期 p_1 の 3 分の 1 以上、3 分の 2 以下になるとすると更によく、また、ずらし量を周期 p_1 の略 2 分の 1 として補助パターンの開口が格子の交点と交点との中点に存在することとするとさらによい。なお、その仮想格子の考えを元にさらなる補助パターン挿入方法が明らかになる。すなわち、仮想格子を軸にしたとき

50

、補助パターン中心と所望パターン中心を結んだ線が軸からある範囲の角度以内ということである。その様子を図26に示す。図26において斜線部は所望パターンを表し、点線は仮想格子を表す。図26に示したように、補助パターン中心と所望パターン中心を結んだ線が仮想格子の軸となす角が 1 以上 2 以下であればよい、と考えることができる。ただし、 1 は 9 度で 2 は 40 度である。

【0077】

このことは、ホールサイズや露光装置とは独立なものであり、補助パターンによって生じる光束は、 $(-1, 1/2)$ 回折光、 $(-1, -1/2)$ 回折光、 $(1, 1/2)$ 回折光、 $(1, -1/2)$ 回折光、 $(1/2, 1)$ 回折光、 $(1/2, -1)$ 回折光、 $(-1/2, 1)$ 回折光、 $(-1/2, -1)$ 回折光の少なくとも一つを含むことが好ましいことが理解される。

10

【0078】

ここで、上記の回折光の名前の定義は以下のとおりである。

【0079】

通常の配置、すなわち縦・横方向にしかパターンが無い場合、図27のようにパターンの周期に応じて碁盤の目状に回折光が現れる。瞳中心に現れる回折光を $(0, 0)$ 次回折光とよび、 x 方向に n 番目、 y 方向に m 番目（ただし、 n と m は整数）として回折光に (n, m) 次回折光と名前をつける。

【0080】

互い違いの配置では、図28のように、通常の配置とは異なった位置に回折光が現れる。特に、 (n, m) 次回折光と $(n, m \pm 1)$ 次回折光の間に回折光が発生する。これらの回折光を本明細書では $(n, m \pm 1/2)$ 次回折光と呼ぶ。同様に、 (n, m) 次回折光と $(n \pm 1, m)$ 次回折光の間に発生する回折光は、 $(n \pm 1/2, m)$ 次回折光と呼んでいる。

20

【0081】

以上、本実施例ではマスクとしてバイナリーマスクを使用した。が、ハーフトーンマスクを使用してもよく、以上と同様の効果を奏する。

【実施例4】

【0082】

ホールが1列に並んでいるパターンを複数有するマスクパターンの場合を考える。例えば、図16(a)に示したように、ホール径 s 、ホール間隔 s で横方向にホール161が並んだパターン162があり、さらに、ホール径 s 、ホール間隔 s で縦方向にホール161が並んだパターン163があるとす。パターン162とパターン163との x 方向の間隔は $3s$ で、パターン162が形成する仮想格子点とパターン163が形成する仮想格子点は、 y 方向に格子点間隔の半分だけずれているとする。バイナリーマスクまたはハーフトーンマスクを使用し、図4(a)のような照度分布を有する有効光源を形成する照明条件であるとする。

30

【0083】

このような場合、通常の補助パターン配置では補助パターン挿入に矛盾が起きる（以下、補助パターンコンフリクトと呼ぶ）。よって、このようなパターン配置の場合、どちらか一方のパターンに互い違いに補助パターンを挿入すればよい。その例を図16(b)に示す。図16(b)では、パターン163に対して互い違いに補助パターンを挿入している

40

なお、互い違いに補助パターンを挿入したほうが光量が強い。ため、通常の補助パターン配置をしたパターンと光量が合わなくなる場合がある。その場合は、通常の補助パターン配置をした周辺の補助パターンの面積を、少し大きくすれば良い。その様子を図16(c)に示す。図16(c)では、補助パターンが2種類あり、補助パターン164は補助パターン165より面積が小さい。具体的には、開口数 $NA = 0.70$ 、縮小比 $4:1$ の ArF エキシマレーザー（露光波長 193 nm ）縮小投影露光装置用における投影光学像について、ホール径の直径が 100 nm 、ホール間隔が 100 nm で1列に配置してあるパ

50

ターンだとすれば、例えば、補助パターン 165 は、補助パターン 164 よりも 5 ~ 10 nm 程度大きく設定される。所望のパターンの 5 ~ 10 % に相当する大きさを補助パターンの大きさを変えればよく、面積でいうと 10 % ~ 30 % 程度大きくすればよい。

【0084】

ここでは補助パターンの大きさを変えることによって、所望パターンがウエハ上に形成された際のそのサイズのばらつきを補正した。

【0085】

しかし、そのように、補助パターンの大きさを変えるのではなく、マスク上での所望パターンの大きさを様々な大きさに変えることによって、所望パターンがウエハ上に形成された際のサイズばらつきを低減してもよい。

【0086】

この場合は、前記露光条件において、マスク上の所望パターンのうち通常の補助パターンが配置された方のサイズを約 1 nm から 7 nm 程度大きくすればよい。この逆に、マスク上の所望パターンのうちの互い違いに補助パターンが配置された方のサイズを約 - 1 nm から - 7 nm 程度小さくしてもよい。また、補助パターンのサイズを変更する前述の方法を併用しても良いのは言うまでもない。

【実施例 5】

【0087】

ホールが 1 列に並んでいるパターンが組み合わさってマスクパターンを形成している場合を考える。図 17 (a) を例にとれば、ホール径 t 、ホール間隔 t でホール 171 が 1 列に並んでいるパターン 172、173、174 があり、パターン 173 と 172 の x 方向の間隔は 0 で y 方向の間隔は $3t$ 、パターン 173 と 174 の x 方向の間隔は 0 で y 方向の間隔は $3t$ だとする。バイナリーマスクまたはハーフトーンマスクを使用し、図 4 (a) のような照度分布を有する有効光源を形成する照明条件であるとする。

【0088】

このようなマスクパターン配置では、通常の補助パターン配置をすると補助パターンコンフリクトが生じるため、通常の補助パターン配置と互い違いな補助パターン配置を組み合わせればよい。その様子を図 17 (b) に示す。図 17 (b) では、パターン 173 に対して互い違いに補助パターンを挿入し、パターン 172、174 に対しては通常通り補助パターンを挿入している。

【0089】

なお、互い違いに補助パターンを挿入したほうが光量が強い場合がある。その場合は、通常の補助パターン配置をしたパターンと光量が合わなくなる場合がある。その場合は、通常の補助パターン配置をした周辺の補助パターンの大きさを、少し大きくすれば良い。その様子を図 17 (c) に示す。図 17 (c) では、補助パターンが 2 種類あり、補助パターン 175 は補助パターン 176 より面積が小さい。具体的には、開口数 $NA = 0.70$ 、縮小比 4 : 1 の ArF エキシマレーザ（露光波長 193 nm）縮小投影露光装置用における投影光学像について、ホール径の直径が 100 nm、ホール間隔が 100 nm で 1 列に配置してある所望のパターンだとすれば、例えば、補助パターン 176 は、補助パターン 175 よりも 5 ~ 10 nm 程度大きく設定される。つまり、所望のパターンの 5 ~ 10 % に相当する大きさを補助パターンの大きさを変えればよく、面積でいうと 10 % ~ 30 % 程度大きくすればよい。

【実施例 6】

【0090】

互い違いな補助パターン配置の応用例を図 18 (a)、(b) を参照して説明する。図 18 (a) のパターン 181 は所望パターンで、それらが仮想格子中の仮想四角形の各頂点に配置されているとする。仮想四角形の x 方向の長さは pa で、y 方向の長さは pb であるとする。 pa 、 pb は補助パターンを挿入するには小さすぎ、かといって補助パターンを入れないときは他の密集パターンに比べて光量が足りないくらいの長さであるとする。言い換えると、仮想四角形の対角線の交点上若しくはその近傍に補助パターンを配置し

10

20

30

40

50

、その対角線の方に周期性を持たせるとよい。より具体的には、露光波長を λ 、投影光学系の開口数を NA としたとき、 p_a 、 p_b が $0.5 \times \lambda / NA$ 以上、 $1.0 \times \lambda / NA$ 以下のときにあてはまる（もちろん、 p_a 、 p_b はこの範囲に限定はしない。前記範囲は一例である）。

【0091】

このような場合、所望パターンの斜め方向周期の中点に補助パターン 182 を挿入し、その方向に周期的に補助パターンを挿入すればよい。これは互い違い配置の応用例である。バイナリーマスクまたはハーフトーンマスクを使用する場合には、図 4 (a) のような照度分布を有する有効光源を形成する照明条件とすればよい。

【0092】

さらに、上記パターンに通常の補助パターン配置を加えることもできる。その様子を図 18 (b) に示す。補助パターン 183 は仮想四角形パターンを元に縦・横方向に補助パターンを通常配置したもので、補助パターン 182 は前述のように互い違い配置を施したものである。

【0093】

上述のように補助パターンを配置することによって、所望パターンを丸くすることができ、光量も多くすることができた。

【実施例 7】

【0094】

ホールが並んでいる場合を考える。図 19 (a) は、たくさんのホールがひとつの列を形成しているときの右端部分での補助パターン 192 の挿入の仕方を示している。基本的には、所望パターン 191 のまわりに互い違いに補助パターン 192 を挿入していけばよいが、それでは端の部分の光量がどうしても落ちてしまう。そこで、パターン端の部分だけは他の部分より多く補助パターンを追加したほうがよい。追加されるべき補助パターンもやはり、互い違いに配置されるべきである。こうして得られたマスクパターンを示したものが図 19 (a) である。

【0095】

図 19 (b) もたくさんのホールがひとつの列を形成しているときの右端部分での補助パターン 192 の挿入の仕方を示している。基本的には、所望パターン 191 のまわりに互い違いに補助パターン 192 を挿入していけばよいが、それでは端の部分の光量がどうしても落ちてしまう。そこで、例えば、開口数 $NA = 0.70$ 、縮小比 4 : 1 の ArF エキシマレーザ（露光波長 193 nm）縮小投影露光装置用における投影光学像について、ホール径の直径が 100 nm、ホール間隔が 100 nm で 1 列に配置してあるパターンだとすれば、パターン端の部分に挿入すべき補助パターン 193 を他の補助パターンよりも 5 ~ 10 nm 程度大きく設定している。つまり、所望のパターンの 5 ~ 10 % に相当する大きさで補助パターンの大きさを変えればよく、面積でいうと 10 % ~ 30 % 程度大きくすればよい。

【0096】

必要に応じて、補助パターン挿入数を場所によって変更したり、補助パターンの大きさを変更したり、もしくはその両方を組み合わせることによって所望のパターンを精度よく形成することが可能になる。やはりこのときもバイナリーマスクまたはハーフトーンマスクを使用する場合には、図 4 (a) ~ (e) のような中心部が暗い有効光源分布を有するような斜入射照明がもっとも効果的である。

【実施例 8】

【0097】

露光方法 I において、焦点深度を増大させるには照明条件を工夫すればよいことがわかったので、有効光源分布の具体的な形状について紹介する。

【0098】

本発明の原理は、図 20 を使って説明される。図 20 は、いわゆる 2 光束干渉の様子で、ある平面波 202 が光軸 201 と角度 θ で入射し、さらにある平面波 203 が角度 θ

10

20

30

40

50

2で入射し、それらが $z = 0$ で干渉する様子を示している。ただし、ある角度 θ_1 と θ_2 があるとして、 $\theta_1 = -\theta_2$ 、 $\theta_2 = +\theta_2$ であるとする。このとき、 $z = 0$ での光強度分布 $I(x)$ は以下の式で表すことができる。

【0099】

【数2】

$$I(x, z) = 2 [1 + \cos \{4\pi/\lambda (\sin\phi \cos\delta x - \sin\phi \sin\delta z)\}]$$

【0100】

もし、 θ_1 と θ_2 が等しいならば δ は0となり、その結果 $I(x, z)$ は z に依存しない。すなわち、理論的には焦点深度が無限大となる。しかし、 θ_1 と θ_2 が異なるときは値を持つため $I(x, z)$ は z に依存することになる。 $I(x, z)$ の z 依存性は、次式で繰り返される。

【0101】

【数3】

$$p = \lambda / (2 \sin\phi \sin\delta)$$

【0102】

その結果 p が小さければ小さいほど、すなわち θ_1 と θ_2 が等しければ等しいほど焦点深度は大きくなる。

【0103】

以上の原理と斜入射照明の効果を踏まえれば、バイナリーマスクまたはハーフトーンマスクを用いたとき、図4(a)のような形状を持つ有効光源分布をさらに改良した図4(b)、(c)、(d)のような形状を持つ有効光源分布のほうが焦点深度が大きくなることがわかる。改良の要は、照明の縦・横方向に細い照度分布を設けることである。本発明者らの経験や蠅の目レンズの影響や照度を考えれば、縦・横方向の細い照度分布図、すなわち図4においてb3、c3、dd3は照明の p に換算して0.05から0.15くらいの幅をもてばよい。

【0104】

特に、マスクパターンに周期性が強い場合は以下のようにして容易に形状を求めることができる。パターンハーフピッチを p 、投影光学系の開口数を NA 、波長を λ としたとき、 k_1 ファクターは $p \times NA / \lambda$ となる。このとき、有効光源分布の形状は p を換算をしたとき、 $1 / (4 \times k_1 \text{ファクター})$ を中心として、b3、c3、dd3は0.1にすればよい。

【0105】

図4(b)、(c)、(d)のような概形を持つ有効光源について、もう少し詳しく形状を述べる。図4(b)においては、 $0.3 < b1 < b2 < 1.0$ であればその効果を発揮できる。図4(c)においては、 $0.1 < c1 < c2 < 0.9$ であればその効果を発揮できる。図4(d)においては、 $0.3 < dd1 < dd2 < 1.0$ であればその効果を発揮できる。実際の露光装置において、 NA を1まで保証している装置は少ないが、実際は NA を絞ることにより k_1 が1以上まで対応しているとみなすことができる。

【実施例9】

【0106】

孤立ホールに対する補助パターン挿入方法を考える。従来ならば、図21(a)のように、所望パターン211の周りに補助パターン212を縦・横方向に挿入していた。しかるに、本発明である互い違いの配置を採用して、図21(b)のように所望パターン211の周りに補助パターン212を挿入した。マスクに応じた照明条件で照明したところ、図21(a)より図21(b)のほうが焦点深度、露光量などの点で性能がよいことがわかった。即ち、本発明は孤立パターンにも適用することができる。孤立パターンに本発明

10

20

30

40

50

を適用するには、孤立パターンを適当な仮想格子に載せて、互い違いの配置をすればよい。基本的に仮想格子の半周期を孤立パターンのホール径と同じにするとよいが、少し離れたところにある周期的なパターンが存在するときはその周期に合わせてもよい。

【0107】

ホールが2つ並んでいるときにも本発明を適用することができる。従来では、図22(a)のように所望パターン221のまわりに補助パターン222を縦・横方向に配置していた。しかし、本発明にしたがって2つのホールからなる仮想格子を想定し、互い違いに補助パターン22を配置した。適当な斜入射照明で照明したところ、図22(a)より図22(b)のほうが焦点深度、露光量などの点で結像性能がよいことがわかった。即ち、本発明はホールが2つ並んでいるときにも適用することができる。

10

【0108】

ホールが3つ以上並んでいるときに、同様に本発明を適用することができることはいうまでもない。

【実施例10】

【0109】

本実施例においては、露光装置として、KrF(波長248nm)、開口数0.73の装置を仮定する。このような条件下で、120nmのコンタクトホールがスペース120nmで13個整列しているものを露光する場合を考える。この様子を図29に示す。図29はコンタクトホールパターン(所望のパターン)の配列を示すための図である。

20

【0110】

さらに、マスクとして、パターン部を光透光部とし、パターン部以外を透過率が6%程度で前記光透光部を通り抜けた光と位相差を180度に保つような部材としたハーフトーンマスク(attenuated phase shifting mask)を使用する。

【0111】

横方向のパターン周期が240nmなので縦方向も240nmの周期とした仮想格子、つまり、縦方向、横方向の双方向に240nmの仮想格子を考え、格子点上に大きさ90nmの補助パターンを配置した。

【0112】

有効光源の形状が図4Aのような形状となるような照明モードで露光したところ、図30のような結果が得られた。図30はウエ八面上での空中像の光強度分布を表すコンター図である。

30

【0113】

図30の結果をみればわかるとおり、所望パターン部の光強度がバックグラウンドの光強度と同程度になってしまい、所望パターンが解像されないことがわかる。補助パターンの配置を互い違いの配置としてみても結果は同じで所望パターンは解像しなかった。そこで、仮想格子の周期を変えずに所望パターンに対応する光透光部の大きさを140nm(すなわちスペースは100nm)にし、補助パターンの大きさを110nmにして通常の配置にしたところ所望パターンに対応する光強度がバックグラウンドの光強度よりも強くなり、所望パターンが解像した。この結果を図31に示す。図31はウエ八面上での空中像の光強度分布を表すコンター図である。

40

【0114】

同様に、補助パターンの配置を互い違いの配置とした場合においても所望パターンの大きさを140nm、補助パターンの大きさを110nmにしたところパターンが解像した。

【0115】

以上の結果より、ハーフトーンマスクを使用する場合には、マスク上の所望パターンサイズは、ウエ八上に転写しようとするパターンサイズに対応したパターンの大きさ(露光装置の投影光学系の倍率を掛けたサイズ)よりも、ある程度大きくしなくてはならないことがわかった。

50

【0116】

しかしながら、大きくしすぎるとパターンが密になり、補助パターンの挿入が困難になることや、所望パターンそのものが近接しているパターンの影響で形がゆがんでしまうという。例えば、所望パターンを180nm、補助パターンを150nmにしたときの結果を図32に示す。このくらいであればまだ大丈夫であるが、ホールがやや横長になっていることがわかる(このことは、コントラストの低下に対応することを示している。)。

【0117】

結局、所望のパターンとそれよりも寸法の小さい補助パターンとを有するハーフトーンマスクにおいては、前記所望のパターンの大きさは、基板(ウエハ)上に形成したい大きさに対応した大きさの120%以上150%以下であることが良いことが分かる。

10

【0118】

次に、マスクとしてバイナリーマスクを使用した。本発明が提案する露光方法は仮想的に周期的パターンを作るという特徴がある。この場合、互いに干渉する回折光同士の強度比が空中像のコントラストに影響する。もちろん、干渉する回折光の強度比が1に近い方がコントラストは大きくなる。バイナリーマスクでは0次光の強度は1次光の強度より強い。1次光の強度を0次光の強度に近づけるには、マスク上の所望パターンサイズを転写すべきパターンサイズよりも小さくすればよい。その結果、空中像のコントラストは大きくなる。一例として、図29のようなコンタクトホールパターンを露光することを考える。

【0119】

20

まず、所望パターンサイズを120nm、補助パターンサイズの大きさを90nmにしたマスクによる空中像から見積もった中心ホールの横方向のコントラストは約36%であった。対して、所望パターンを140nm、補助パターンの大きさを110nmにしたマスクによる空中像から見積もった中心ホールの横方向のコントラストは約31%であった。

【0120】

つまり、バイナリーマスクのときは、前述のハーフトーンマスクのときとは逆に、マスク上の所望パターンサイズを、ウエハ上に転写しようとするパターンサイズに対応したパターンのサイズ(露光装置の投影光学系の倍率を掛けたサイズ)よりも小さく設定したほうが、像のコントラストが高くなるということがわかった。しかしながら、パターンサイズを小さくしすぎるとスループットが下がるしマスクの作成が困難になるので、限りなく小さくすれば良いということではない。現実的には小さくする下限は80%程度がよい。

30

【0121】

結局、所望のパターンとそれよりも寸法の小さい補助パターンとを有するバイナリーマスクにおいては、前記所望のパターンの大きさは、基板(ウエハ)上に形成したい大きさに対応した大きさの80%以上95%以下であることが良いことが分かる。

【実施例11】

【0122】

本実施例においては、露光装置として、KrF(波長248nm)、開口数0.73の装置を用いており、有効光源の形状が図4Aに示すような形状となるような照明モードで露光を行っている。

40

【0123】

このような条件下で、図33記載のコンタクトホールパターンを露光することを考える。図33では縦方向に周期250nmで120nmのコンタクトホールパターンが11個並んでおり(図33では、簡単のため、中心の3つのコンタクトホールパターンだけを示している)、そのようなコンタクトホール列が間隔520nmで2列並んでいる。

【0124】

図23記載のフローチャートによれば、横方向には $760\text{nm} \div 3$ で約253nmの周期で補助パターンを入れていけばよいことになる。しかしながら、本実施例においては、図34のように所望パターンの周期を横方向にも適用した、すわなち、横方向にも周期2

50

50 nmで仮想格子を形成した。図34は、図33の所望のパターンに適用した仮想格子をあらわす図である。

【0125】

このように仮想格子を構成し通常の配置で補助パターンを配置した場合でも所望パターンは解像した(図35)。図35は、ウエハ上における所望のパターンの空中像をあらわす図である。

【0126】

次に、もともとホール径とスペースの寸法が1:1の場合は結像性能がよいということを利用して、図36のように横方向には240 nmの周期で仮想格子を形成していった。このようにして形成した仮想格子に通常の配置で補助パターンを配置していったときでもやはり所望パターンは解像した(図37)。図37は、ウエハ上における所望のパターンの空中像をあらわす図である。

【0127】

本実施例では、補助パターンを通常の配置とした結果だけを示したが、本実施例の補助パターン挿入方法は通常の配置に限定されるものではない。すなわち、本実施例に記載されているような方法で仮想格子を決定したあとに、格子点と補助パターン中心が互い違いとなる配置で補助パターンを配置していてもよい。

【0128】

以上において、この発明の特定の実施例を説明したが、この発明を説明したのと別の方法で実施してもよいことが判るであろう。この説明は、本発明を制限することを意図しない。本発明をあらゆるマスクパターンに適用できることにはっきりと注目されるべきである。

【0129】

本実施形態によれば、異なる周期を持つパターンを一括してウエハ上に転写することが可能になる。さらに副次的効果として所望パターン部だけを配置したマスクよりも解像力が良くなる。このように、本実施形態によれば従来のフォトマスクを用いた投影露光装置による微細加工が可能になる。

【0130】

以下、図1を参照して、本発明のマスクを露光する露光装置300について説明する。ここで、図1は、本発明の例示的な露光装置300の概略ブロック断面図である。露光装置300は、図1に示すように、上述のマスクを照明する照明装置310と、照明されたマスクパターンから生じる回折光をプレート340に投影する投影光学系330と、プレート340を支持するステージ345とを有する。

【0131】

露光装置300は、例えば、ステップアンドスキャン方式やステップアンドリピート方式でマスク320に形成された回路パターンをプレート340に露光する投影露光装置である。かかる露光装置は、サブミクロンやクォーターミクロン以下のリソグラフィ工程に好適であり、以下、本実施形態ではステップアンドスキャン方式(「スキャナー」とも呼ばれる。)を例に説明する。ここで、「ステップアンドスキャン方式」は、マスクに対してウエハを連続的にスキャン(走査)してマスクパターンをウエハに露光すると共に、1ショットの露光終了後ウエハをステップ移動して、次の露光領域に移動する露光方法である。「ステップアンドリピート方式」は、ウエハの一括露光ごとにウエハをステップ移動して次のショットの露光領域に移動する露光方法である。

【0132】

照明装置310は、転写用の回路パターンが形成されたマスク320を照明し、光源部312と、照明光学系314とを有する。

【0133】

光源部312は、例えば、光源としては、波長約193 nmのArFエキシマレーザー、波長約248 nmのKrFエキシマレーザー、波長約157 nmのF2エキシマレーザーなどを使用することができるが、光源の種類はエキシマレーザーに限定されないし、そ

10

20

30

40

50

の光源の個数も限定されない。また、光源部 3 1 2 にレーザーが使用される場合、レーザー光源からの平行光束を所望のビーム形状に整形する光束整形光学系、コヒーレントなレーザー光束をインコヒーレント化するインコヒーレント化光学系を使用することが好ましい。

【 0 1 3 4 】

照明光学系 3 1 4 は、マスク 3 2 0 を照明する光学系であり、レンズ、ミラー、ライトインテグレーター、絞り等を含む。例えば、コンデンサーレンズ、ハエの目レンズ、開口絞り、コンデンサーレンズ、スリット、結像光学系の順で整列する等である。照明光学系 3 1 4 は、軸上光、軸外光を問わずに使用することができる。ライトインテグレーターは、ハエの目レンズや 2 組のシリンドリカルレンズアレイ（又はレンチキュラーレンズ）板を重ねることによって構成されるインテグレーター等を含むが、光学ロッドや回折素子に置換される場合もある。

10

【 0 1 3 5 】

マスク 3 2 0 は、例えば、石英製で、その上には転写されるべき回路パターン（又は像）が形成され、図示しないマスクステージに支持及び駆動される。マスク 3 2 0 から発せられた回折光は、投影光学系 3 3 0 を通りプレート 3 4 0 上に投影される。マスク 3 2 0 とプレート 3 4 0 は、光学的に共役の関係にある。本実施形態の露光装置 3 0 0 はスキャナーであるため、マスク 3 2 0 とプレート 3 4 0 を縮小倍率比の速度比でスキャンすることによりマスク 3 2 0 のパターンをプレート 3 4 0 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（「ステッパー」とも呼ばれる。）の場合は、マスク 3 2 0 とプレート 3 4 0 を静止させた状態で露光が行われる。かかるマスク 3 2 0 には、上述の所望のパターンと補助パターンが形成される。

20

【 0 1 3 6 】

投影光学系 3 3 0 は、複数のレンズ素子のみからなる光学系、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光学系（カタディオプトリック光学系）、複数のレンズ素子と少なくとも一枚のキノフォームなどの回折光学素子とを有する光学系、全ミラー型の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。

【 0 1 3 7 】

プレート 3 4 0 は、ウエハや液晶基板などの被処理体でありフォトレジストが塗布されている。フォトレジスト塗布工程は、前処理と、密着性向上剤塗布処理と、フォトレジスト塗布処理と、プリベーク処理とを含む。前処理は、洗浄、乾燥などを含む。密着性向上剤塗布処理は、フォトレジストと下地との密着性を高めるための表面改質（即ち、界面活性剤塗布による疎水性化）処理であり、HMDS（Hexamethyl-disilazane）などの有機膜をコート又は蒸気処理する。プリベークは、ベーク（焼成）工程であるが現像後のそれよりもソフトであり、溶剤を除去する。

30

【 0 1 3 8 】

ステージ 3 4 5 は、プレート 3 4 0 を支持する。ステージ 3 4 5 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 3 4 5 は、リニアモーターを利用してXY方向にプレートを移動することができる。マスク 3 2 0 とプレート 3 4 0 は、例えば、同期走査され、ステージ 3 4 5 と図示しないマスクステージの位置は、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 3 4 5 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、マスクステージ及び投影光学系 3 3 0 は、例えば、床等上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。

40

【 0 1 3 9 】

露光において、光源部 3 1 2 から発せられた光束は、照明光学系 3 1 4 によりマスク 3 2 0 を、例えば、ケラー照明する。マスク 3 2 0 を通過してマスクパターンを反映する

50

光は、投影光学系 330 によりプレート 340 に結像される。露光装置 300 が使用するマスク 320 は、補助パターンが所望のパターンの結像性能を高め（例えば、円形に近づける）、焦点深度を増加するので作業性を高めて従来よりも高品位なデバイス（半導体素子、LCD 素子、撮像素子（CCD など）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。

【0140】

次に、図 7（a）及び図 7（b）を参照して、上述の露光装置を利用したデバイスの製造方法の実施例を説明する。図 7（a）は、デバイス（IC 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。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ 1（回路設計）では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。ステップ 3（ウエハ製造）ではシリコンなどの材料を用いてウエハを製造する。ステップ 4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、マスクとウエハを用いて本発明のリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。ステップ 5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ 4 によって作成されたウエ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 で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。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。

【0141】

図 7（b）は、ステップ 4 のウエ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）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ 12（CVD）では、ウエハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ 13（電極形成）では、ウエハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ 14（イオン打ち込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ 15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ 16（露光）では、露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに露光する。ステップ 17（現像）では、露光したウエハを現像する。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分を削り取る。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エハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施例のデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位の

【図面の簡単な説明】

【0142】

【図 1】本発明の一実施形態としての露光装置の単純化された光路図である。

【図 2】位相シフトマスクとバイナリマスクとハーフトーンマスクの概略断面図である。

【図 3】通常マスクと本発明の一側面としての露光方法に用いられるマスクの概略平面図、及び、所望のコンタクトホールパターンを示す図である。

【図 4】本発明の露光方法に適用可能な照明系の有効光源の形状を示す図である。

【図 5】所望のコンタクトホールパターンと本発明の露光方法に適用可能なマスクパターンの模式図である。

【図 6】本発明の露光方法に適用可能なマスクパターンの模式図である。

【図 7】図 1 に示す露光装置を使用するデバイス製造方法を説明するためのフローチャート及びそのステップ 4 のウエハプロセスの詳細なフローチャートである。

【図 8】本発明の露光方法による露光結果を示す図である。

【図 9】本発明の露光方法に適用可能なマスクの概略平面図である。

【図 10】図 9 に示すマスクから生じた瞳面上での回折光の分布及び結像を模式的に示す図である。

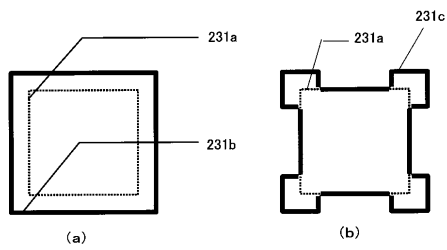
【図 11】本発明の露光方法に適用可能なマスクパターンとその結像状態を示す模式図である。

- 【図 1 2】本発明の露光方法に適用可能なマスクパターンの模式図である。
- 【図 1 3】本発明の露光方法に適用可能なマスクパターンの模式図である。
- 【図 1 4】本発明の露光方法に適用可能なマスクの概略平面図である。
- 【図 1 5】図 1 4 に示すマスクから生じた瞳面上での回折光の分布を示す図である。
- 【図 1 6】本発明の露光方法に適用可能なマスクパターンの模式図である。
- 【図 1 7】本発明の露光方法に適用可能なマスクパターンの模式図である。
- 【図 1 8】本発明の露光方法に適用可能なマスクパターンの模式図である。
- 【図 1 9】本発明の露光方法に適用可能なマスクパターンの模式図である。
- 【図 2 0】2 光束干渉を説明するための模式図である。
- 【図 2 1】本発明の露光方法に適用可能なマスクパターンの模式図である。 10
- 【図 2 2】本発明の露光方法に適用可能なマスクパターンの模式図である。
- 【図 2 3】本発明の仮想格子の決定方法を説明するためのフローチャートである。
- 【図 2 4】本発明によるマスクパターン及び照明条件を設定する方法を説明するためのフローチャートである。
- 【図 2 5】OPC を説明するための平面図である。
- 【図 2 6】本発明の露光方法に適用可能なマスクパターン作成方法を模式的に示す図である。
- 【図 2 7】回折光の名前の定義を説明するための図である。
- 【図 2 8】回折光の名前の定義を説明するための図である。
- 【図 2 9】パターンの配列を示すための図である。 20
- 【図 3 0】ウエハ面上での空中像の光強度分布を表すコンター図である。
- 【図 3 1】ウエハ面上での空中像の光強度分布を表すコンター図である。
- 【図 3 2】露光結果を示す図である。
- 【図 3 3】パターンの配列を示すための図である。
- 【図 3 4】パターンの配列を示すための図である。
- 【図 3 5】露光結果を示す図である。
- 【図 3 6】パターンの配列を示すための図である。
- 【図 3 7】露光結果を示す図である。
- 【符号の説明】
- 【 0 1 4 3】 30
- 2 1 マスク基盤
- 2 2 遮光部材
- 2 3 位相シフト
- 2 4 ハーフトーン部材
- 3 1、3 4、5 1、5 2、6 1、1 1 1、1 2 1、1 3 1、1 6 1、1 7 1、1 8 1、1 9 1 - 1 9 3、2 1 1、2 2 1 所望パターン
- 3 2、5 3、6 2、1 1 2、1 2 2、1 3 2、1 6 4、1 6 5、1 7 5、1 7 6、1 8 2、1 8 3、2 1 2、2 2 2 補助パターン
- 3 3、9 2、1 4 2 遮光部
- 4 1 A - 4 1 F 照明系光透過部 40
- 4 2 A - 4 2 F 照明系光遮光部
- 6 3 仮想格子
- 9 1、1 4 1 マスク透光部
- 1 0 1 瞳
- 1 0 2、1 0 1 a - 1 0 7 b 回折光
- 1 0 1 g 形成されたパターンの概略形状
- 1 0 1 h - 1 0 4 h、1 0 2 g - 1 0 3 g 形成されたパターンの概略形状
- 1 1 3 A、1 1 3 B 像断面図
- 1 2 3 a、1 2 3 b パターン領域
- 1 6 2、1 6 3、1 7 2 - 1 7 4 集合としてのパターン 50

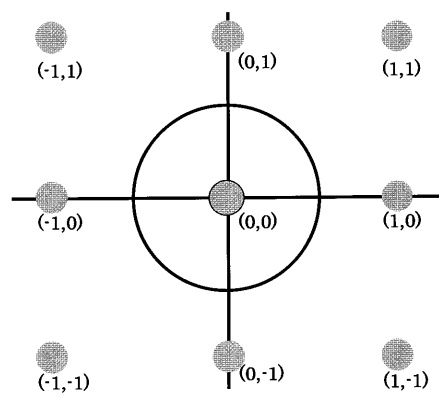
2 0 1 光軸

2 0 2、2 0 3 平面波の進行方向

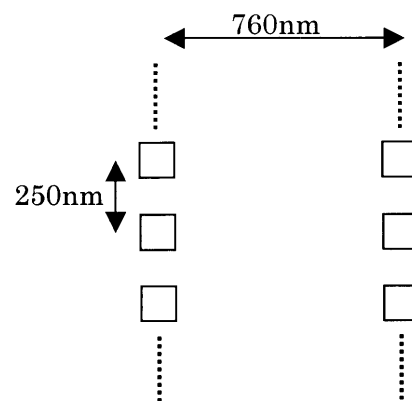
【図 2 5】



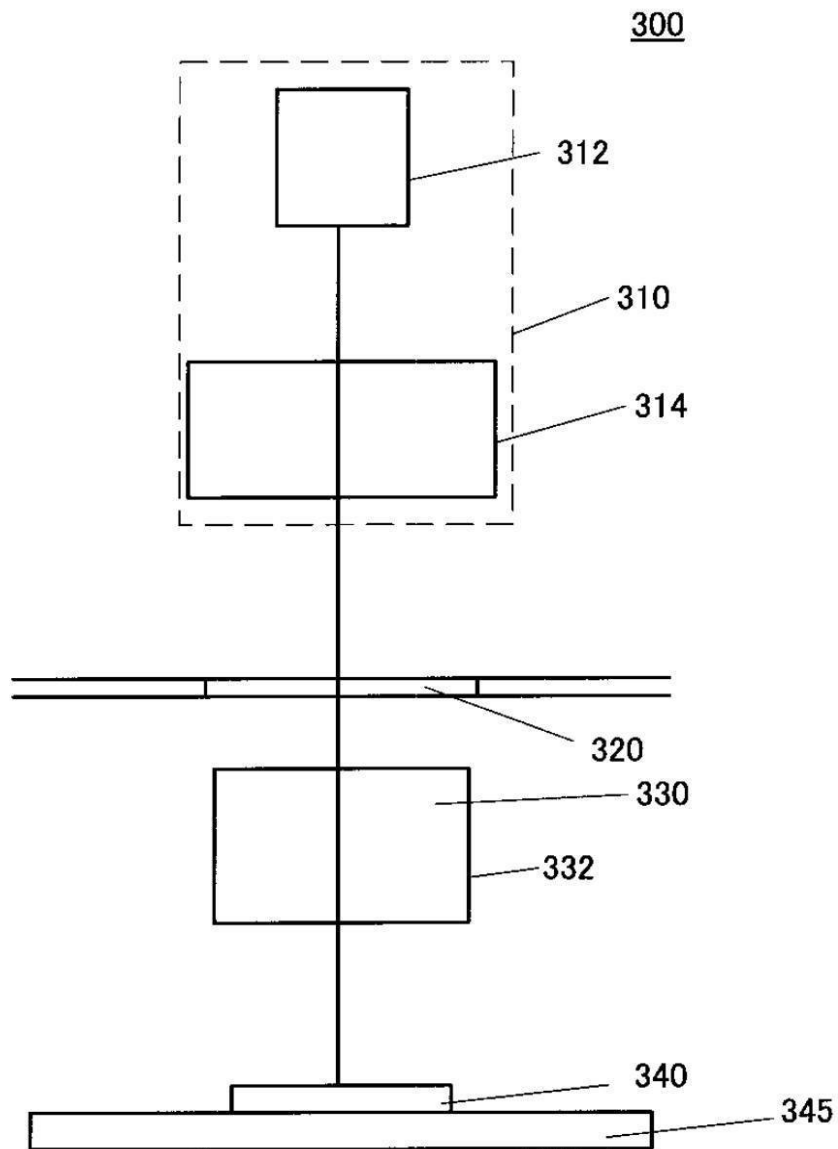
【図 2 7】



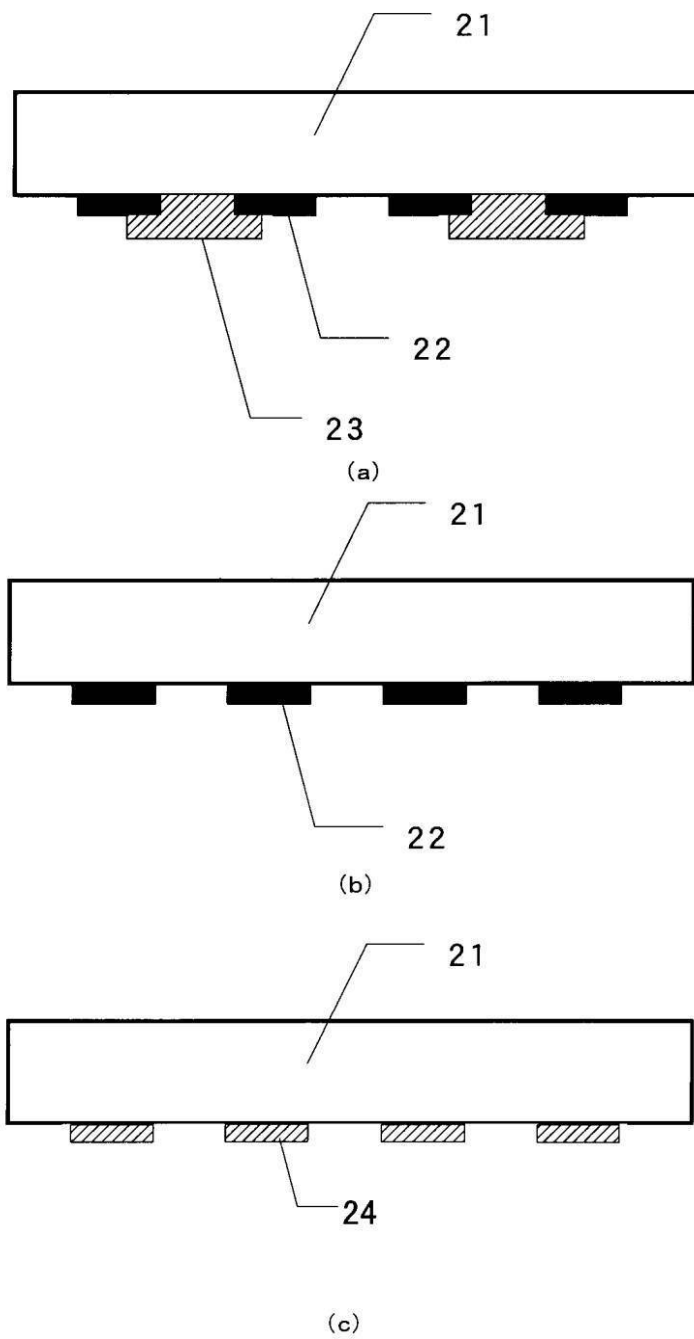
【図 3 3】



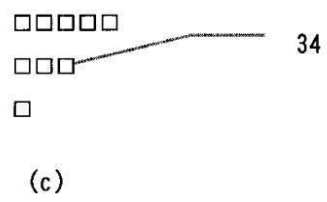
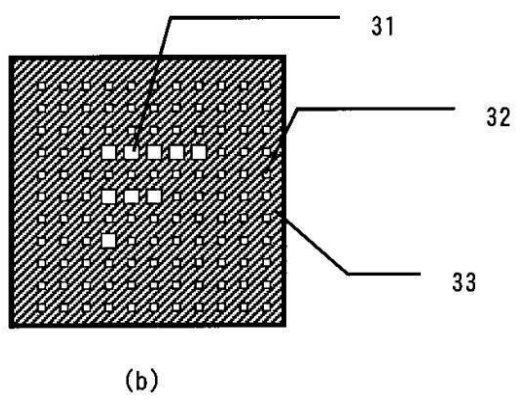
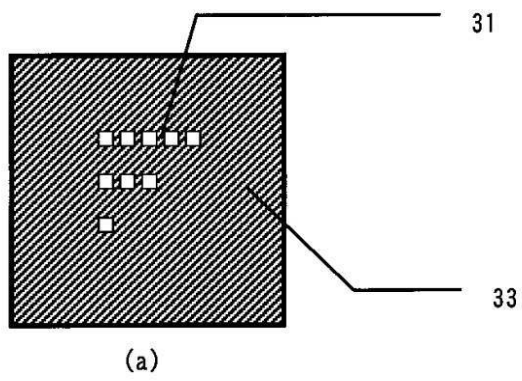
【図 1】



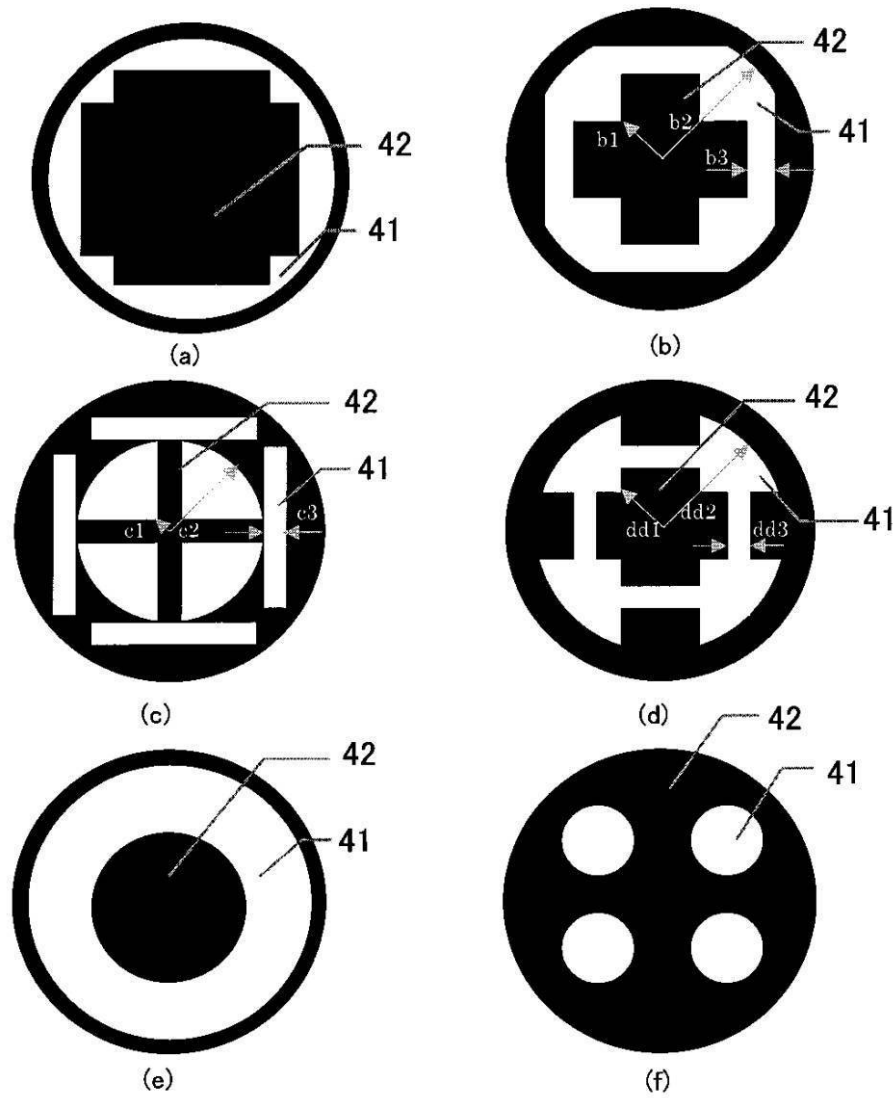
【図 2】



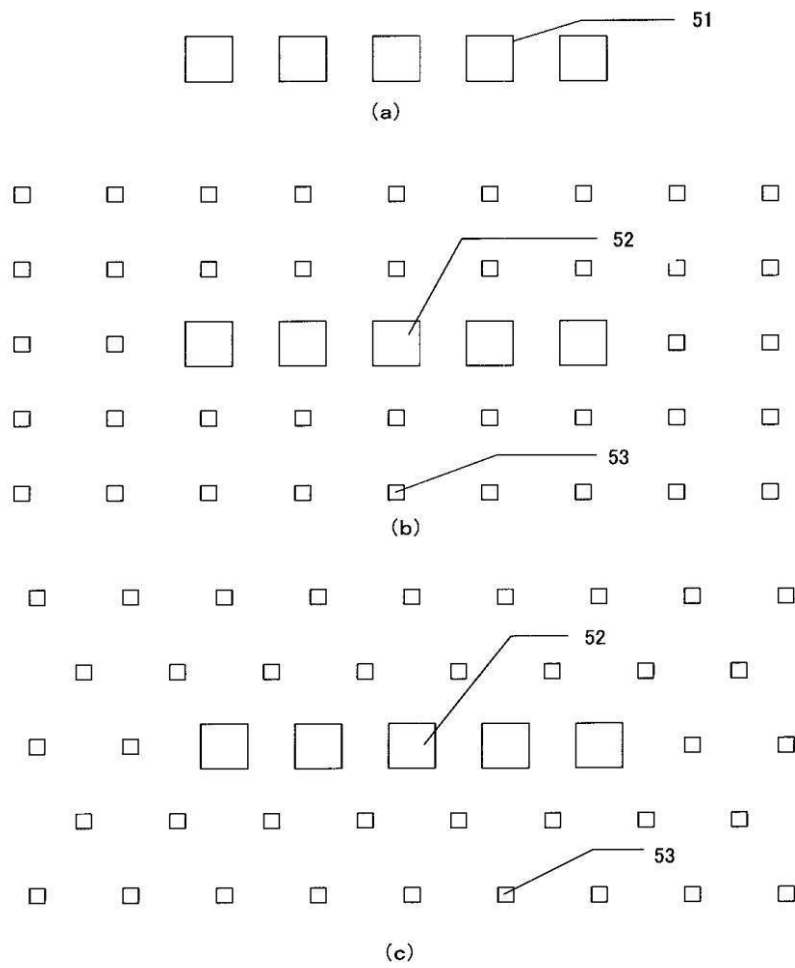
【図 3】



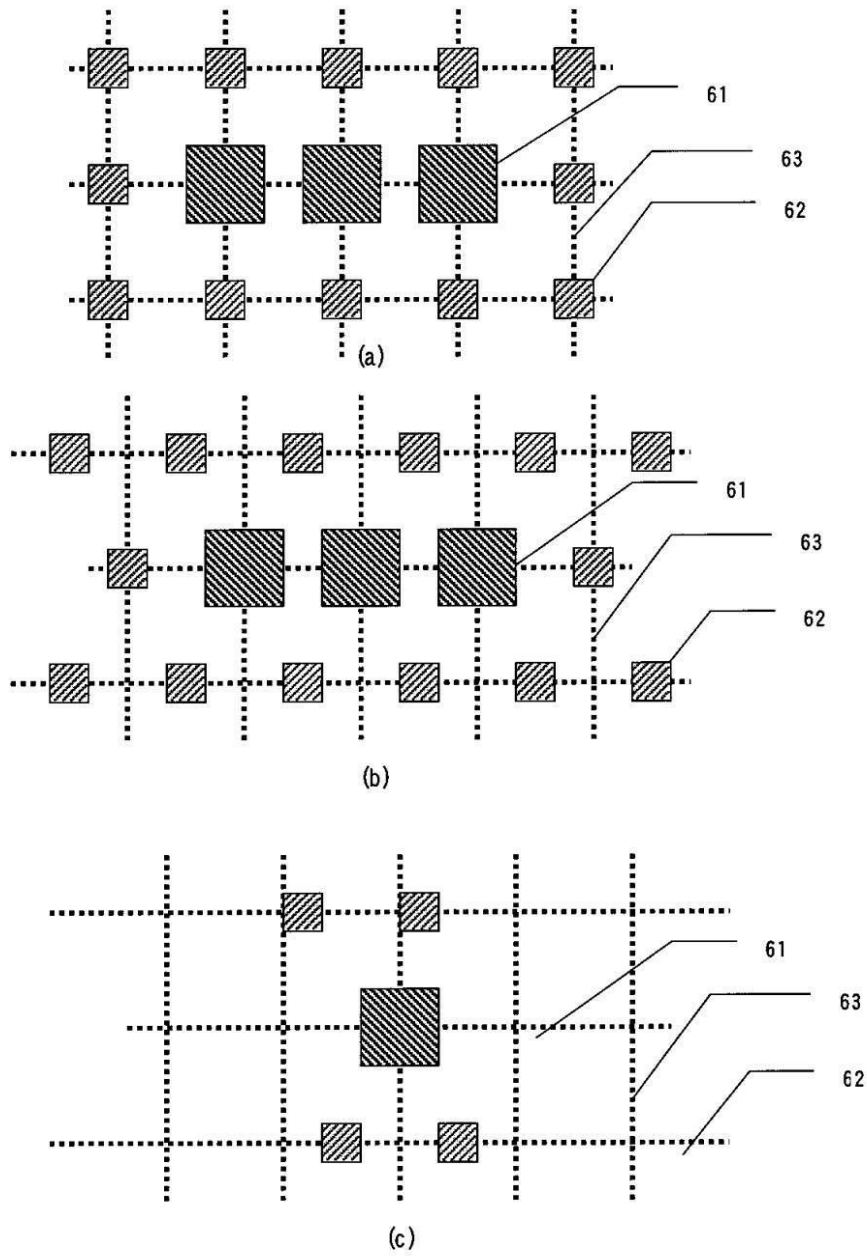
【図4】



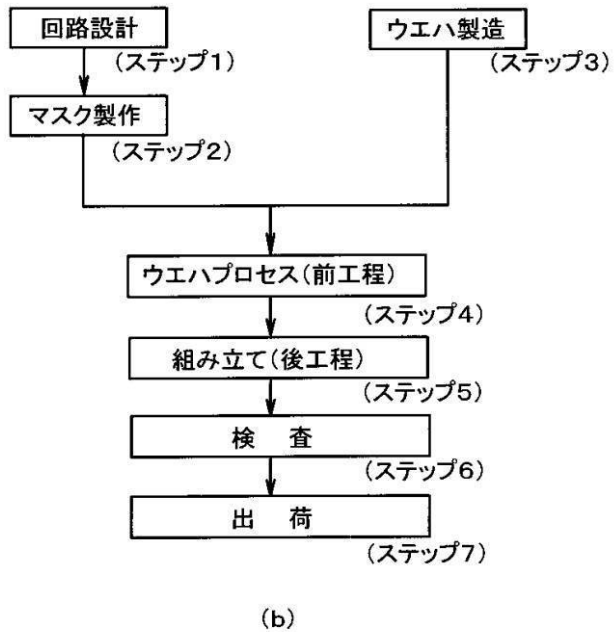
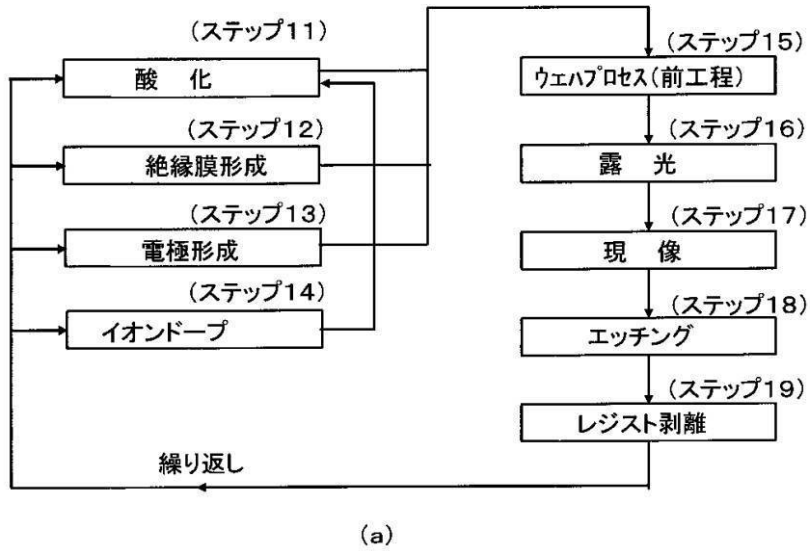
【図 5】



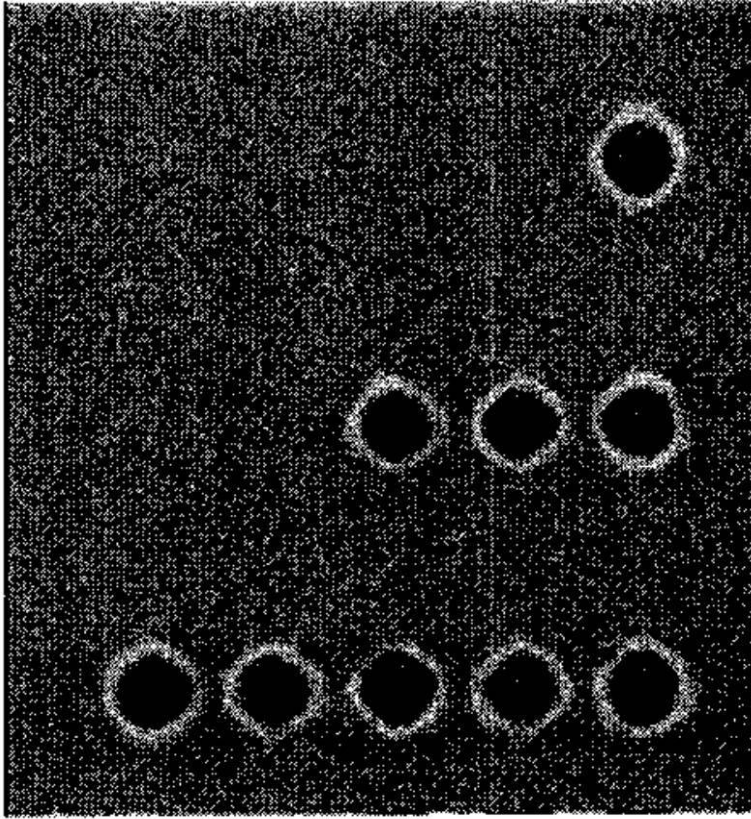
【図 6】



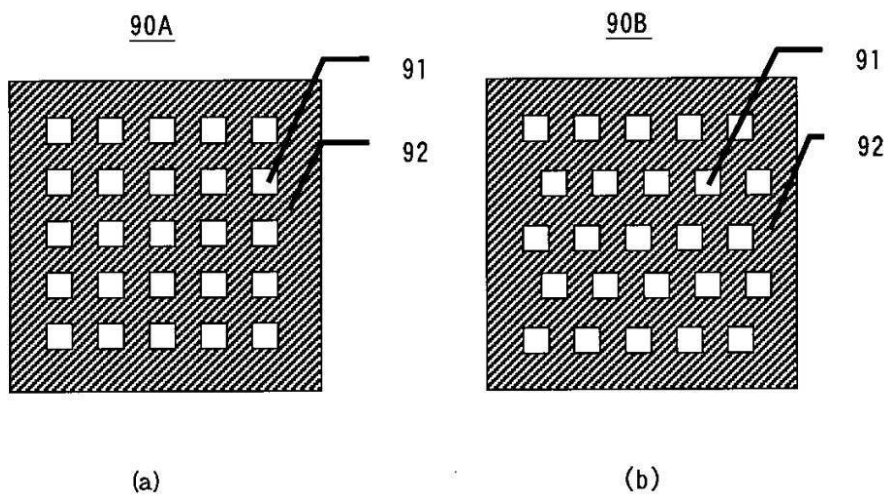
【図 7】



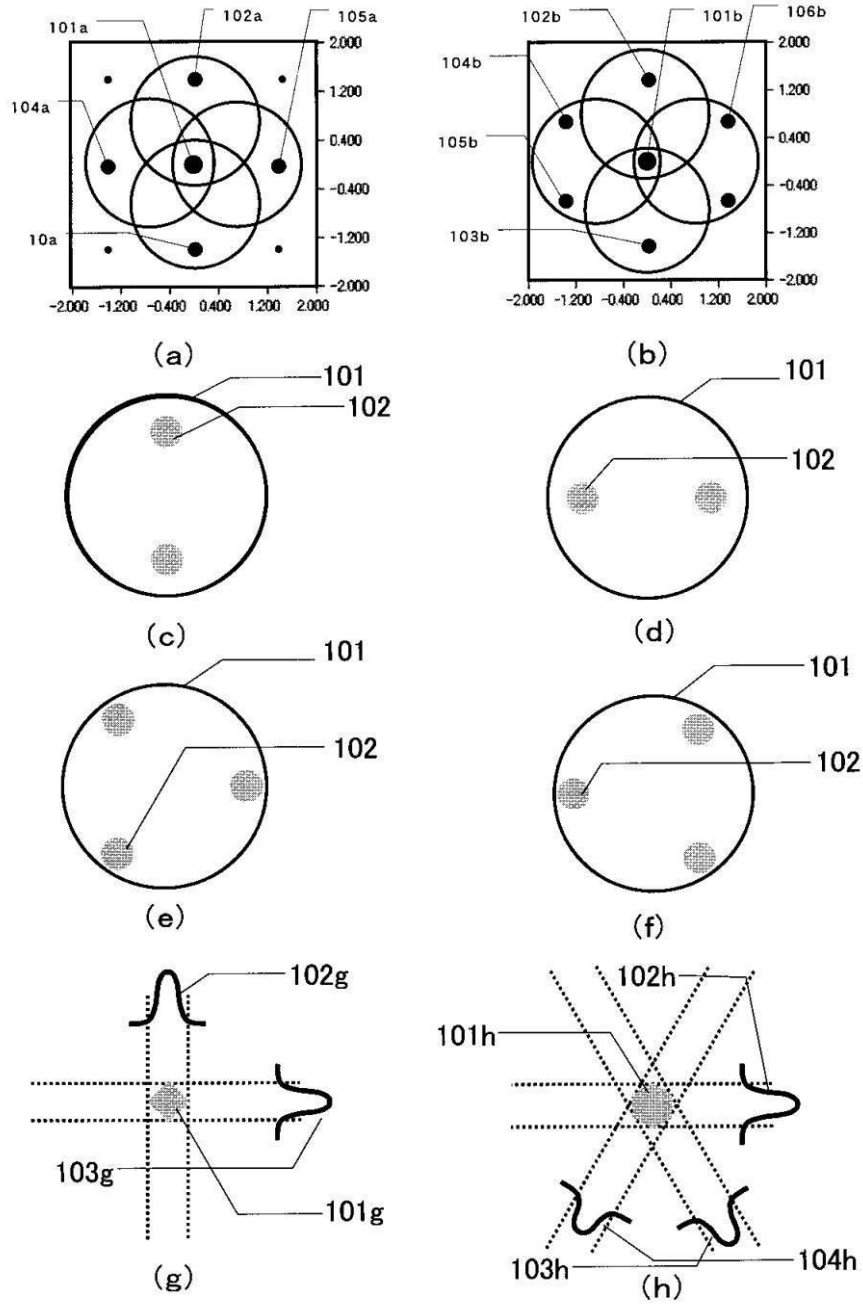
【図 8】



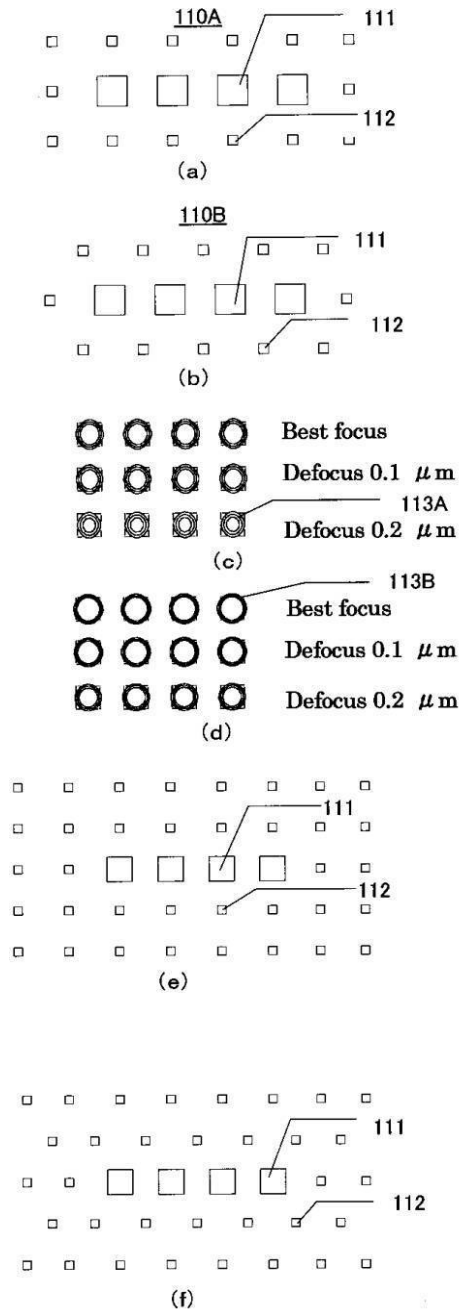
【図 9】



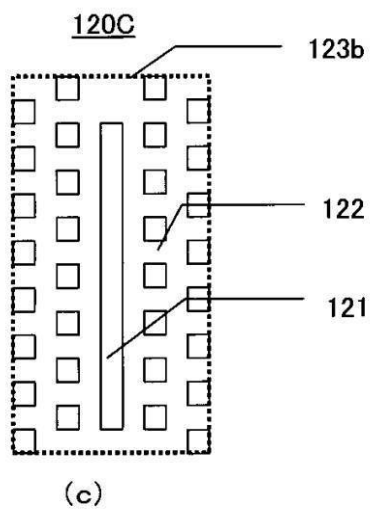
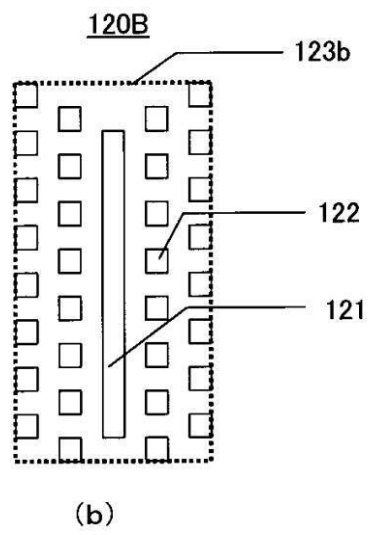
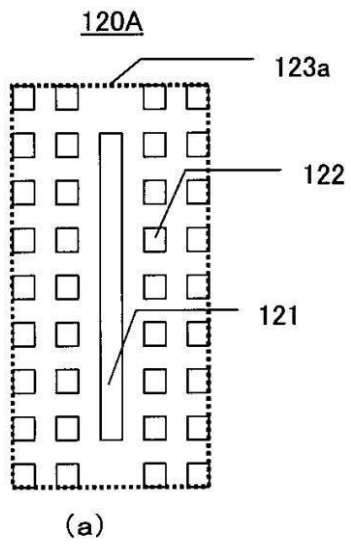
【図 10】



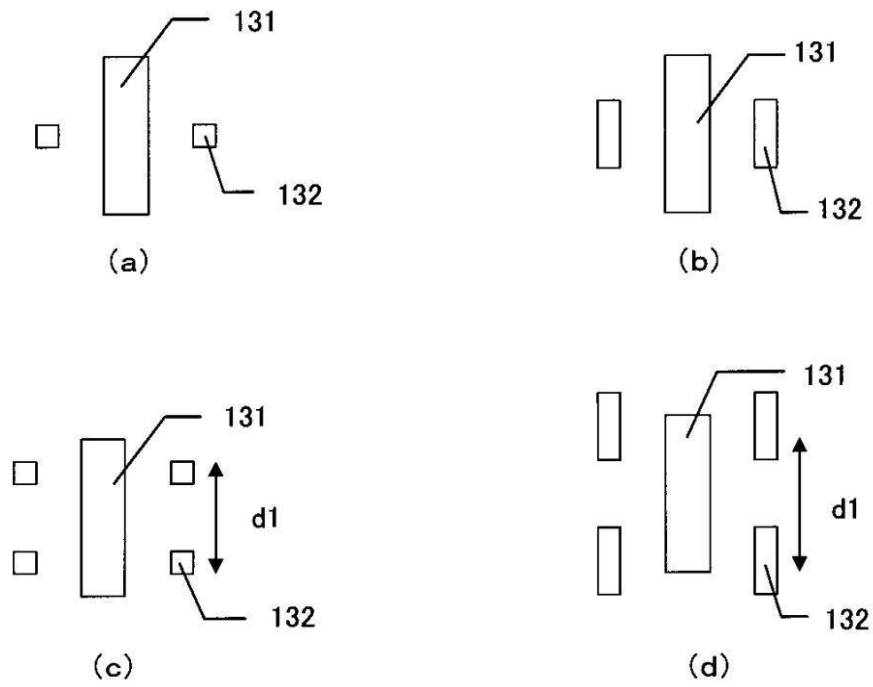
【図 11】



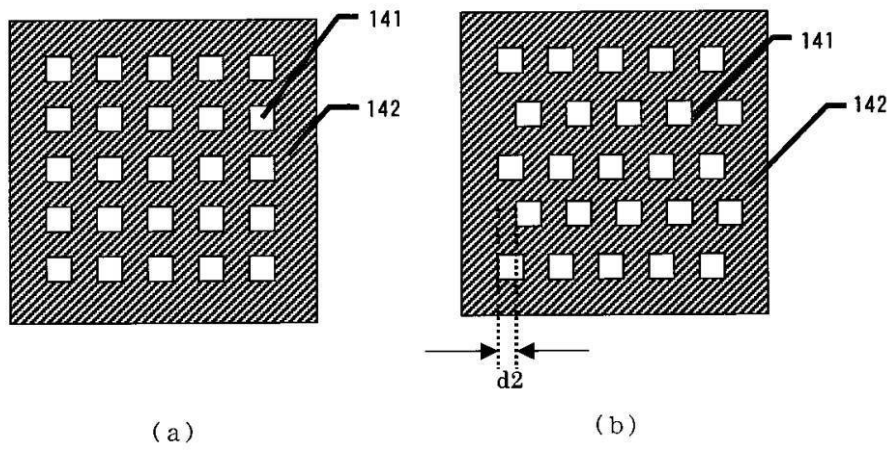
【図 12】



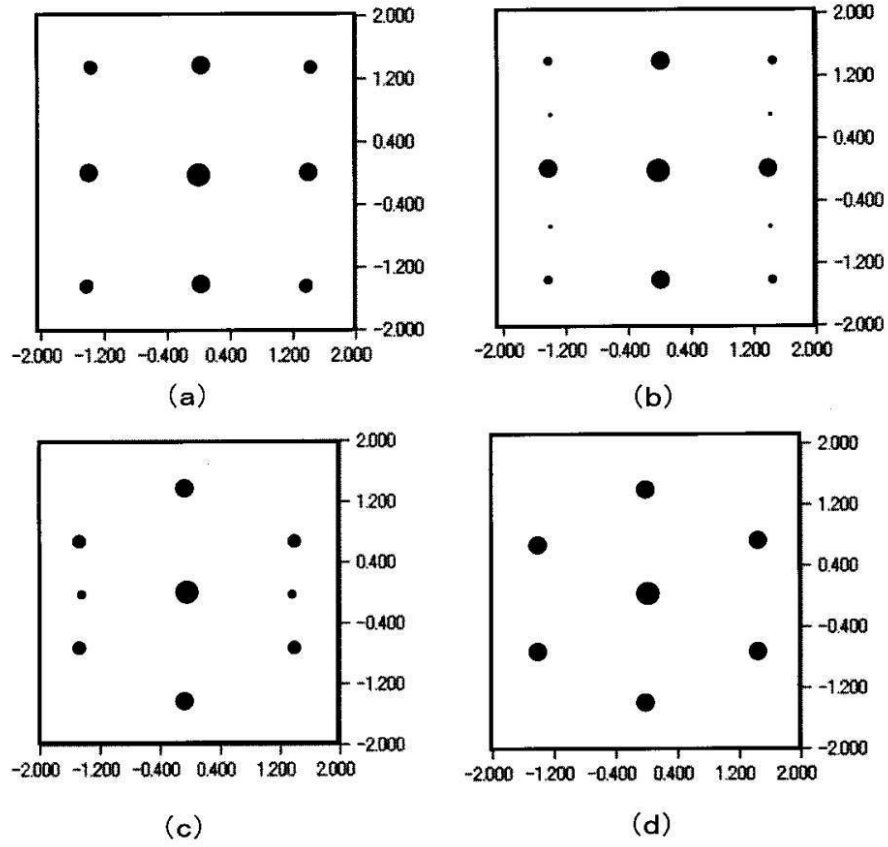
【図 13】



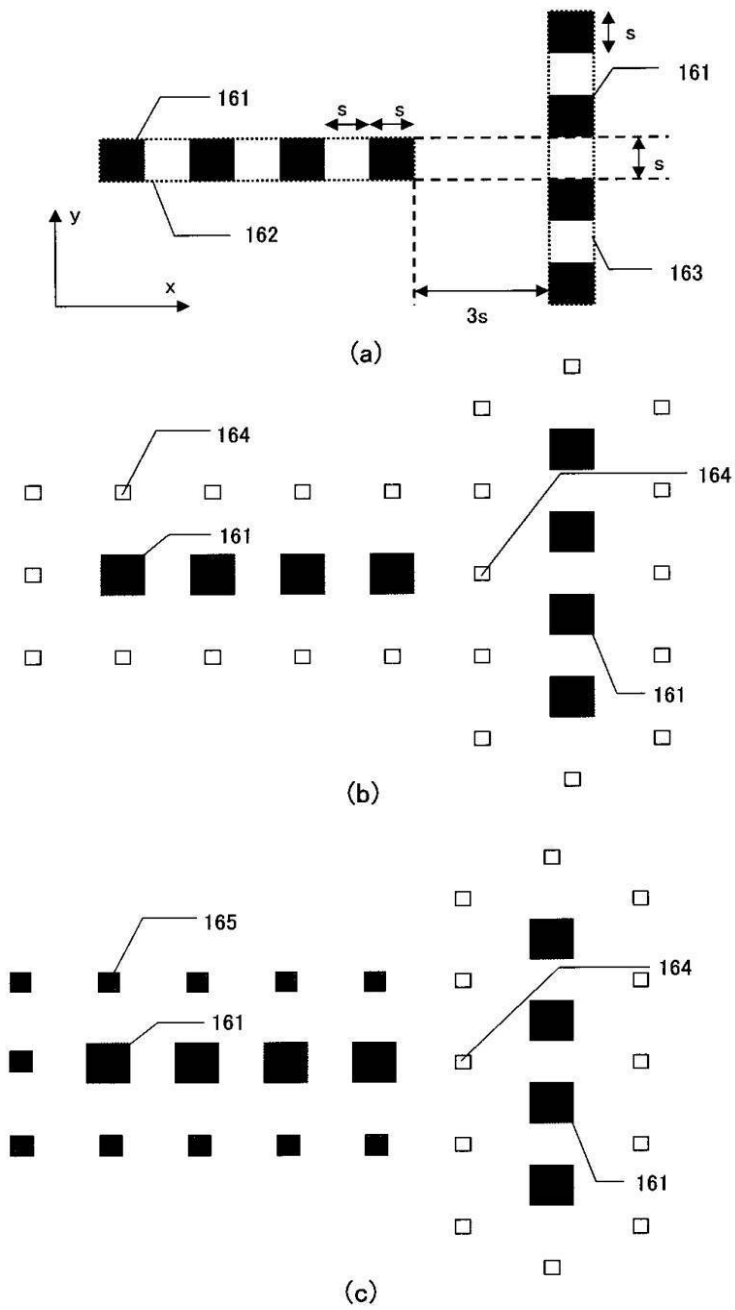
【図 14】



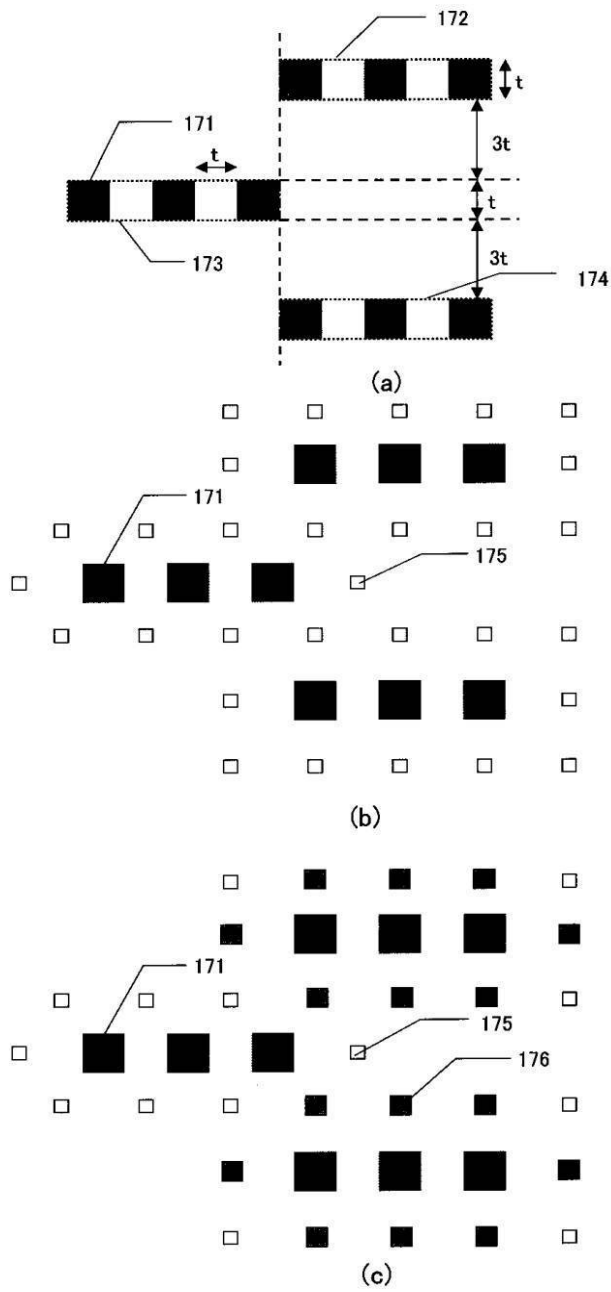
【図 15】



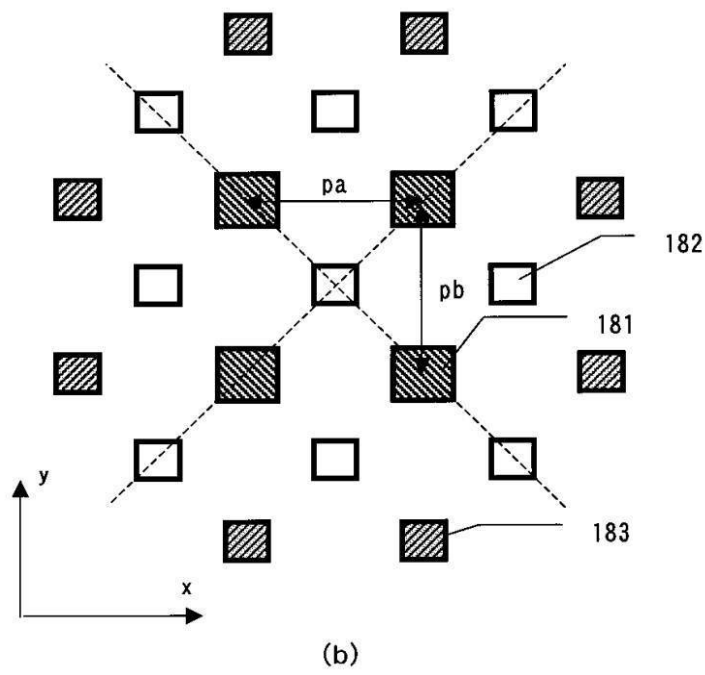
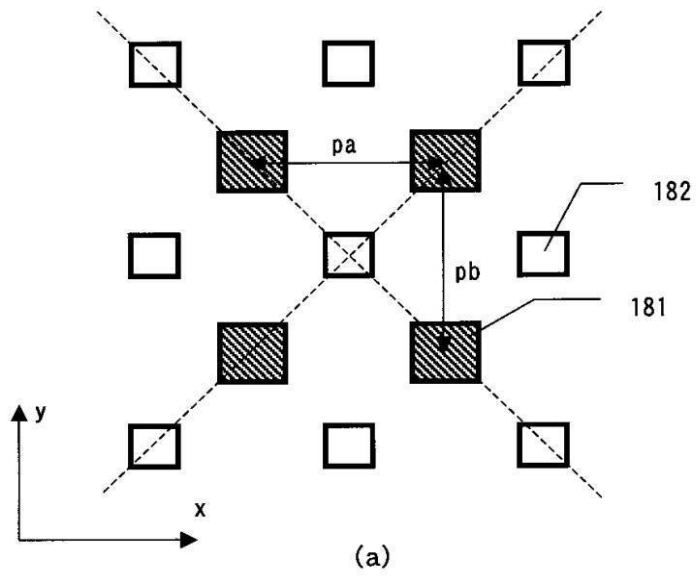
【図 16】



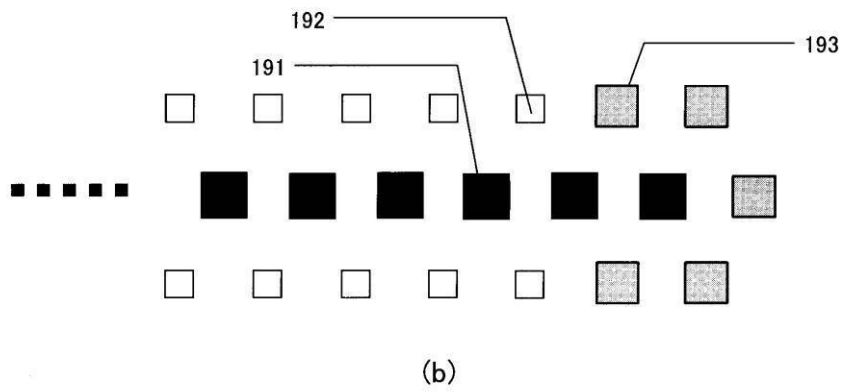
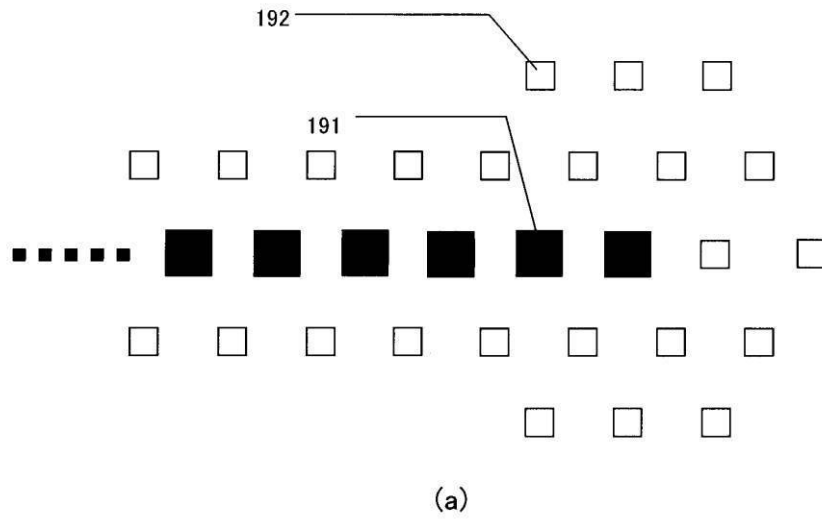
【図 17】



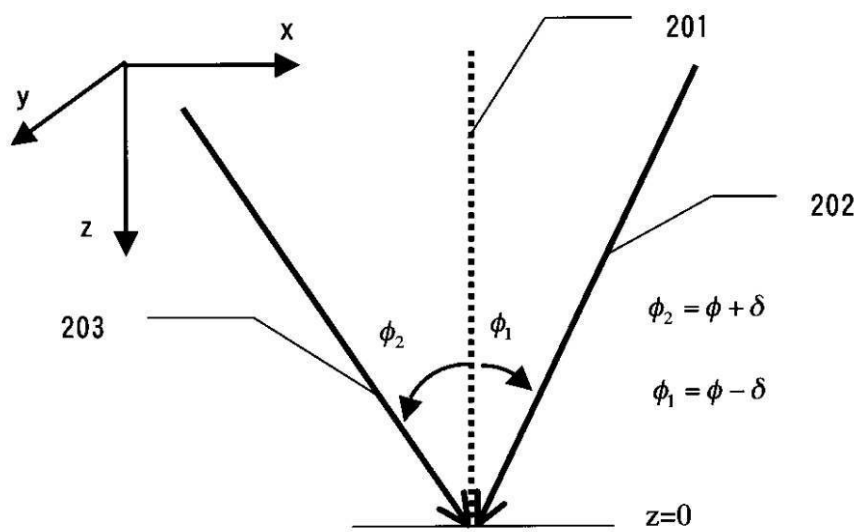
【図 18】



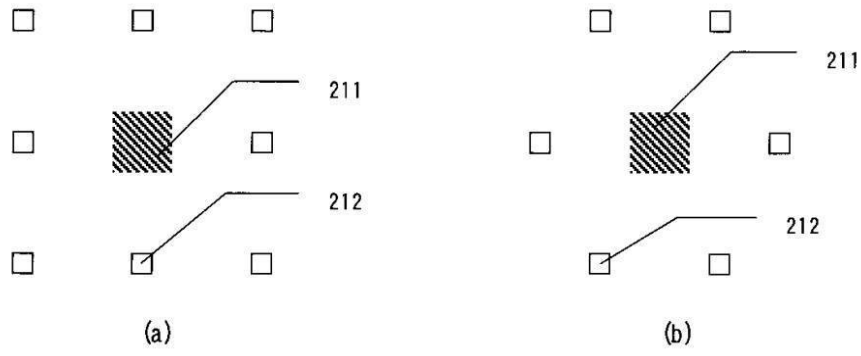
【図 19】



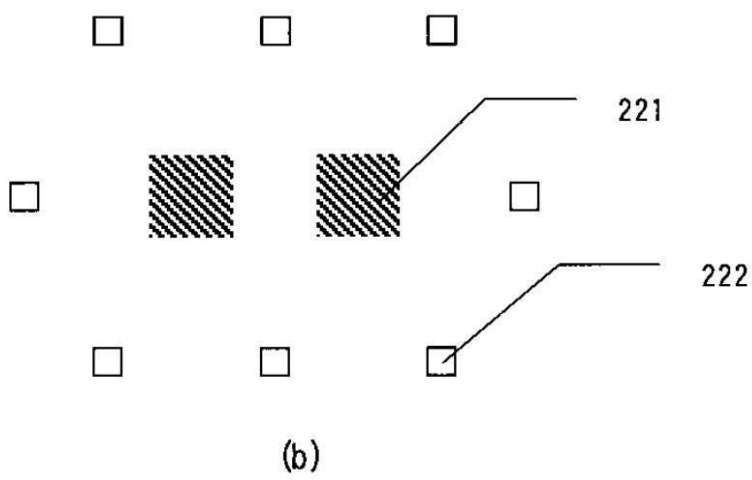
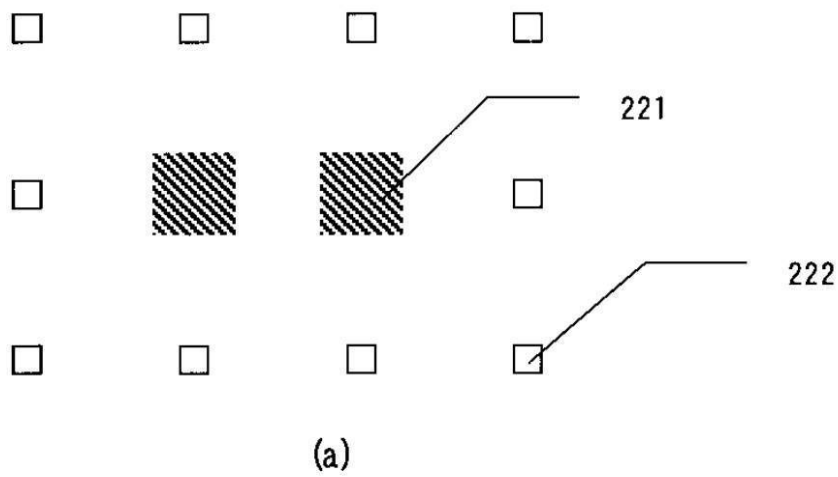
【図 20】



【図 2 1】



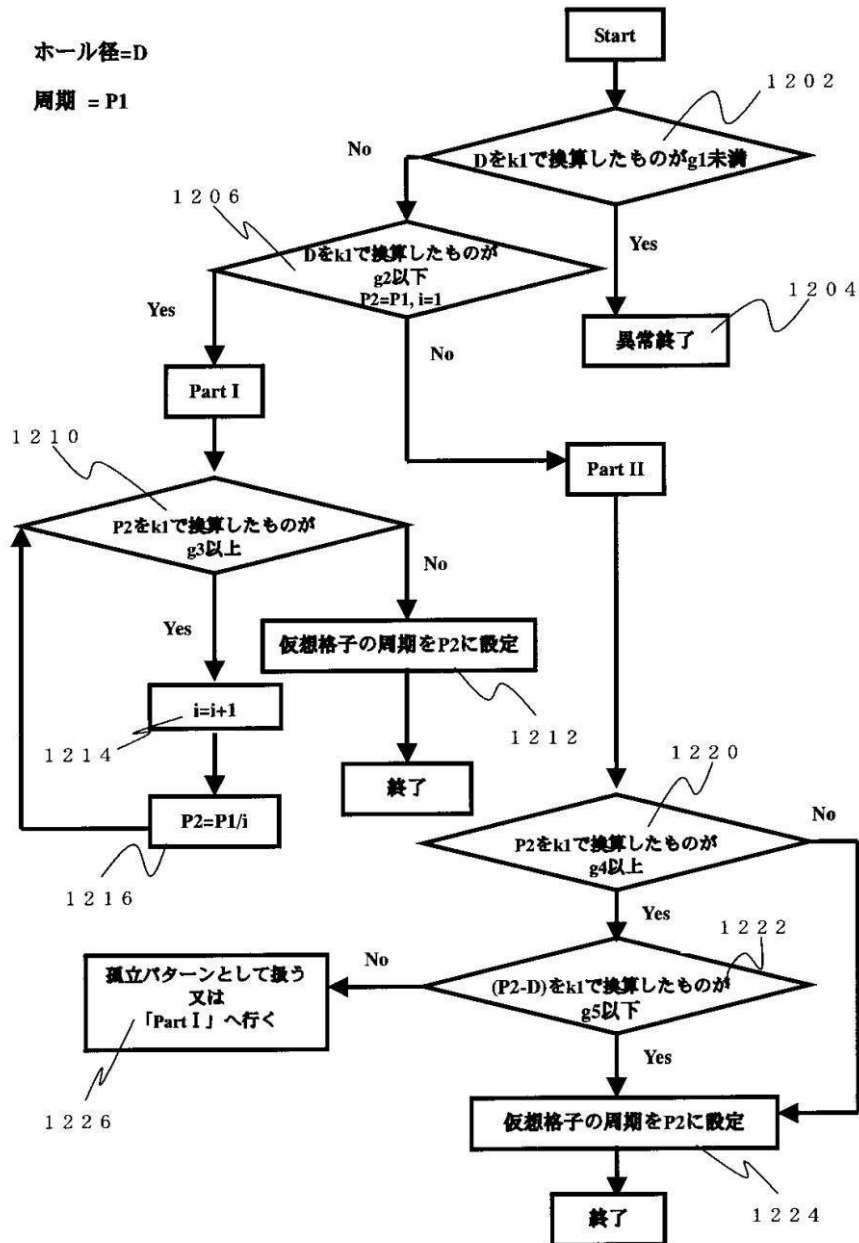
【図 2 2】



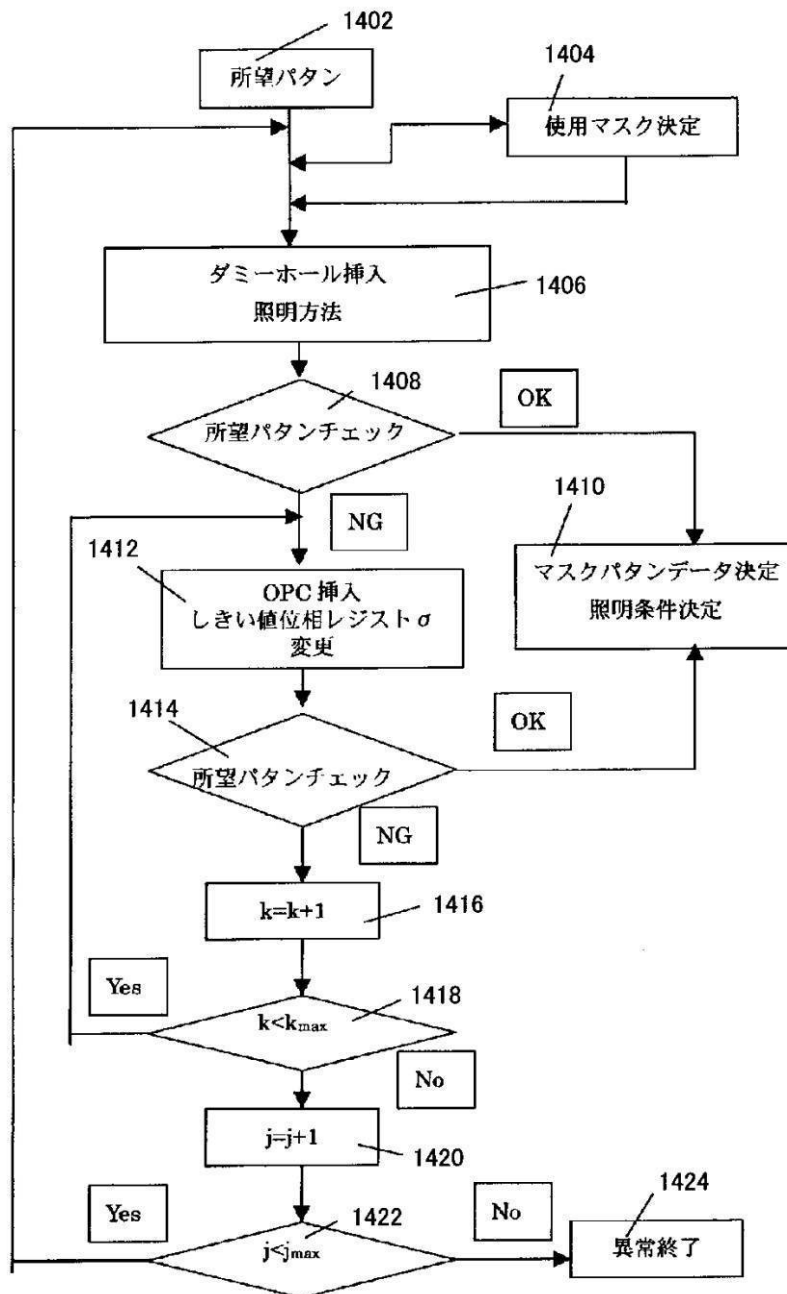
【図 23】

ホール径=D

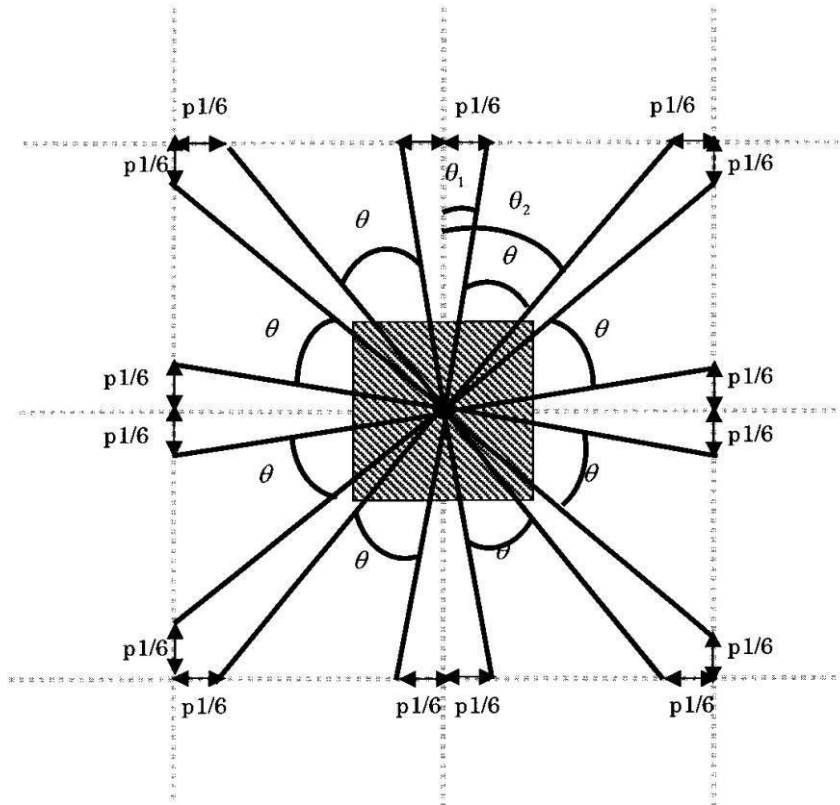
周期 = P1



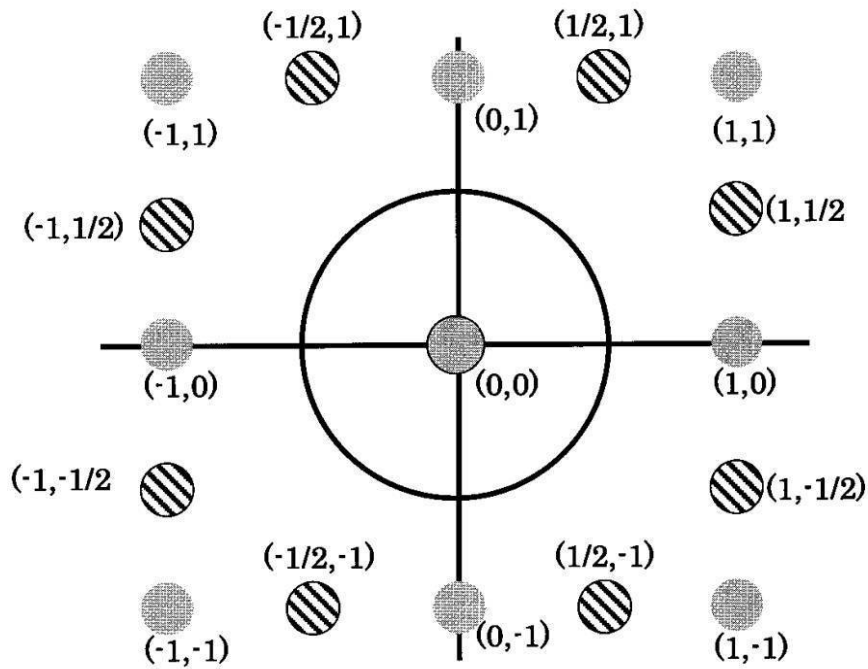
【図 24】



【図 26】



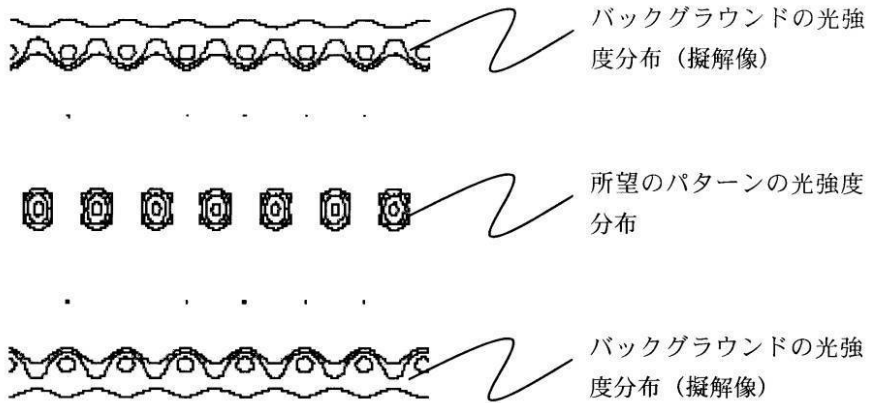
【図 28】



【図 29】



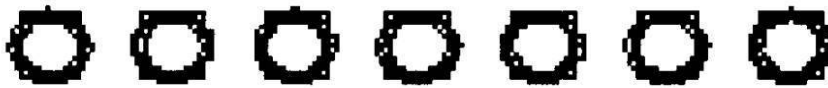
【図 3 0】



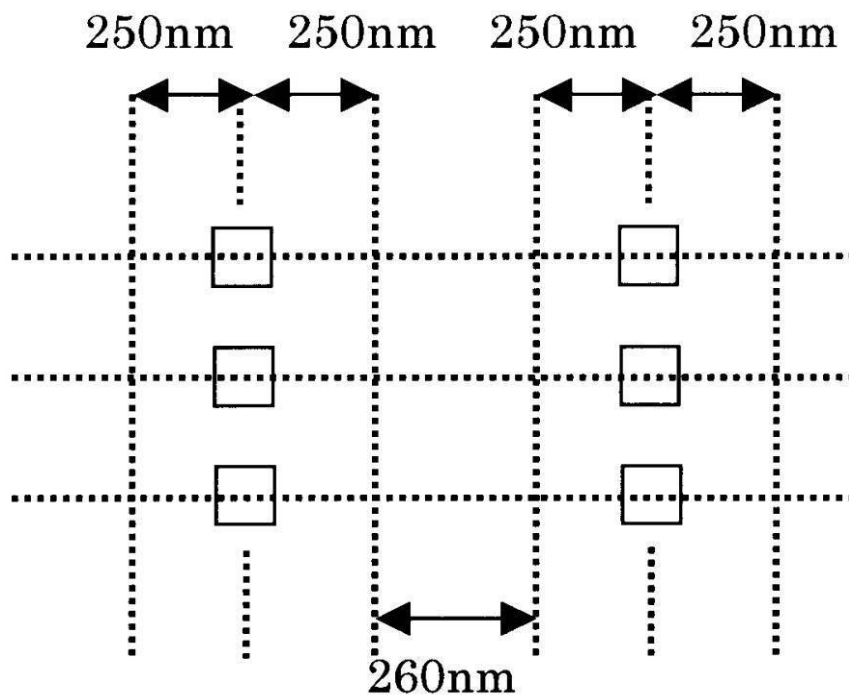
【図 3 1】



【図 3 2】



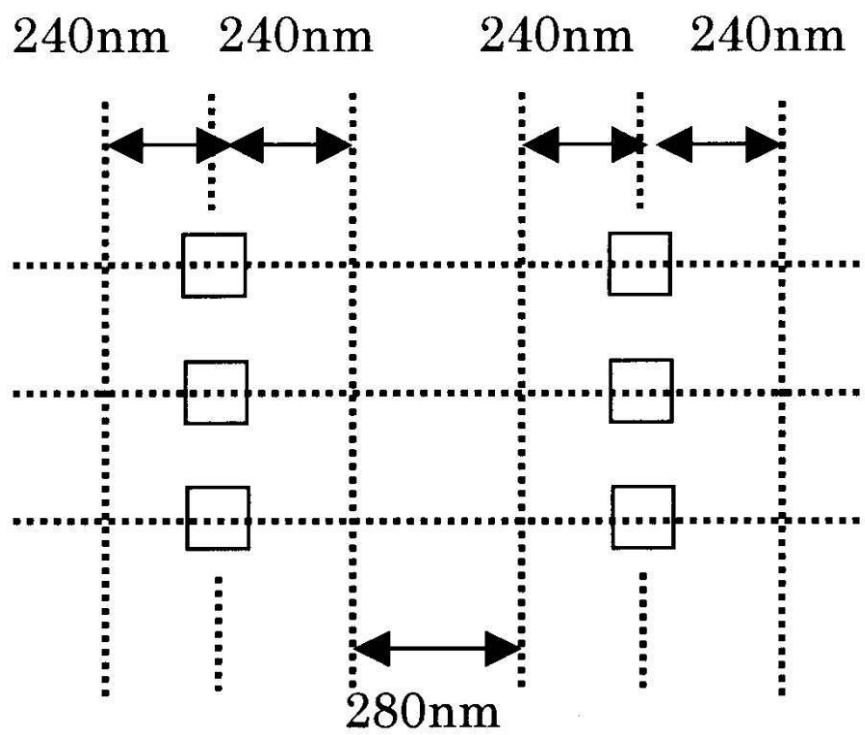
【図 3 4】



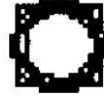
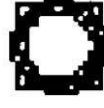
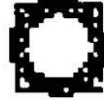
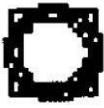
【図 3 5】



【図 3 6】



【図 37】



フロントページの続き

審査官 佐藤 海

- (56)参考文献 特開 2 0 0 2 - 1 2 2 9 7 6 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 0 3 1 8 8 4 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 1 1 0 7 1 9 (J P , A)
特開平 0 6 - 2 8 9 5 9 1 (J P , A)
特開平 1 1 - 0 8 4 6 2 5 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 3 1 8 1 0 0 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 3 F 1 / 0 0 - 1 / 1 6
H 0 1 L 2 1 / 0 2 7