

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-185970

(P2008-185970A)

(43) 公開日 平成20年8月14日(2008.8.14)

(51) Int.Cl.		F I			テーマコード (参考)
G03F 7/26	(2006.01)	G03F 7/26	511		2H096
H01L 21/027	(2006.01)	H01L 21/30	502C		5F046
G03F 7/40	(2006.01)	G03F 7/40			

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2007-21700 (P2007-21700)	(71) 出願人	503121103
(22) 出願日	平成19年1月31日 (2007.1.31)		株式会社ルネサステクノロジ
			東京都千代田区大手町二丁目6番2号
		(74) 代理人	100064746
			弁理士 深見 久郎
		(74) 代理人	100085132
			弁理士 森田 俊雄
		(74) 代理人	100083703
			弁理士 仲村 義平
		(74) 代理人	100096781
			弁理士 堀井 豊
		(74) 代理人	100098316
			弁理士 野田 久登
		(74) 代理人	100109162
			弁理士 酒井 将行

最終頁に続く

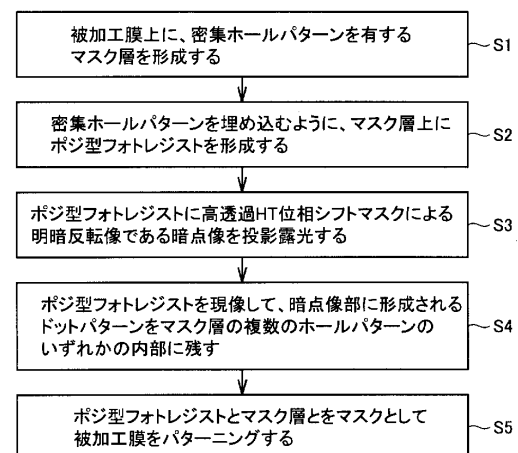
(54) 【発明の名称】 パターンの形成方法、電子デバイスの製造方法および電子デバイス

(57) 【要約】

【課題】ポジ型のフォトリソ適用下で、ランダム配置のホールパターンを、高裕度で形成することができるパターンの形成方法、電子デバイスの製造方法および電子デバイスを提供する。

【解決手段】被加工膜 2 上に、密集ホールパターンを有する第 1 のポジ型フォトリソ 3 が形成される。複数のホールパターン 3 a の各々を埋め込むように第 1 のフォトリソ 3 上に第 2 のポジ型フォトリソ 4 が形成される。第 2 のフォトリソ 4 に高透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 の明暗反転像である暗点像が投影露光される。第 2 のフォトリソ 4 の現像により、暗点像部に形成される第 2 のフォトリソ 4 のドットパターンが複数のホールパターンのいずれかの内部に残される。第 1、第 2 のフォトリソ 3、4 をマスクとして、被加工膜 2 がパターンニングされる。

【選択図】図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

被加工膜上に、複数のホールパターンが密集した密集ホールパターンを有するマスク層を第 1 のポジ型フォトリソットの適用により形成する工程と、

前記密集ホールパターンの複数の前記ホールパターンの各々を埋め込むように前記マスク層上に第 2 のポジ型フォトリソットを形成する工程と、

前記第 2 のポジ型フォトリソットにハーフトーン位相シフトマスクを用いて暗点像を投影し露光する工程と、

露光された前記第 2 のポジ型フォトリソットを現像することにより、前記第 2 のポジ型フォトリソットの暗点像部分に形成されるドットパターンを前記マスク層の複数の前記ホールパターンのいずれかの内部に残す工程と、

前記マスク層と前記第 2 のポジ型フォトリソットに形成された前記ドットパターンとをマスクとして、前記被加工膜をパターンニングする工程とを備え、

前記ハーフトーン位相シフトマスクは、前記ドットパターン部に形成される開口部を有するハーフトーン位相シフト膜を有し、

前記第 2 のポジ型フォトリソットに前記ハーフトーン位相シフトマスクを用いて前記暗点像を投影し露光する工程は、前記開口部の存在しない領域で前記ハーフトーン位相シフト膜を透過した露光光の光強度では前記第 2 のポジ型フォトリソットが現像時に溶解され、かつ前記開口部により前記ドットパターン部分に形成される前記暗点像の光強度では前記第 2 のポジ型フォトリソットが現像時に溶解されないような露光量で露光する、パターンの形成方法。

【請求項 2】

前記ハーフトーン位相シフト膜の光透過率が 15% 以上 25% 以下であり、

前記ドットパターン部に形成される前記ハーフトーン位相シフト膜の開口部の寸法が、露光光の波長 / 開口数 NA を 1 とした計測で 0.26 以上 0.45 以下であることを特徴とする、請求項 1 に記載のパターンの形成方法。

【請求項 3】

前記マスク層は、前記密集ホールパターンを有する第 1 のポジ型フォトリソットであることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のパターンの形成方法。

【請求項 4】

前記マスク層は、前記密集ホールパターンを有するハードマスク層であることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のパターンの形成方法。

【請求項 5】

前記ハードマスク層に前記密集ホールパターンを形成する工程は、

前記ハードマスク層上に密集ホールパターンを有する第 1 のポジ型フォトリソットを形成する工程と、

前記第 1 のポジ型フォトリソットをマスクとして前記ハードマスク層をパターンニングする工程とを備えることを特徴とする、請求項 4 に記載のパターンの形成方法。

【請求項 6】

前記第 1 のポジ型フォトリソットに前記密集ホールパターンを形成するための露光は、ハーフトーン位相シフトマスクを用いて行われることを特徴とする、請求項 3 または 5 に記載のパターンの形成方法。

【請求項 7】

前記第 1 のポジ型フォトリソットに前記密集ホールパターンを形成するための露光は、変形照明を用いて行われることを特徴とする、請求項 3、5 および 6 のいずれかに記載のパターンの形成方法。

【請求項 8】

前記変形照明は、クロスボール照明および 4 重極照明のいずれかであることを特徴とする、請求項 7 に記載のパターンの形成方法。

【請求項 9】

前記第 2 のポジ型フォトリソグレイに前記ドットパターンを形成するための露光は、変形照明を用いて行われることを特徴とする、請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載のパターンの形成方法。

【請求項 10】

前記変形照明は、クロスボール照明であることを特徴とする、請求項 9 に記載のパターンの形成方法。

【請求項 11】

請求項 1 ~ 10 のいずれかのパターン形成方法により電子デバイスを製造することを特徴とする、電子デバイスの製造方法。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の方法により製造されることを特徴とする、電子デバイス。

【請求項 13】

被加工膜を有し、かつ前記被加工膜には、平面視において複数の縦線と複数の横線とが交差する格子を仮想したときに、前記複数の縦線と前記複数の横線とが交差する複数の交点のうち任意の交点にホールパターンが形成されていることを特徴とする、請求項 12 に記載の電子デバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、パターンの形成方法、電子デバイスの製造方法および電子デバイスに関し、特に、微小孤立ホールパターンを有するランダム配置ホールパターンの形成方法、電子デバイスの製造方法および電子デバイスに関するものである。

【背景技術】

【0002】

光リソグラフィにおける、ホールパターン形成ではラインパターンと異なり、2 次元的に電磁場を局在させる必要があるため、微細化が原理的に困難である。さらに、ホールパターンをポジ型フォトリソグレイにより形成する場合には、像の実効コントラストが本質的に小さくなる。

【0003】

なかでも、微小孤立ホールの形成には、有効な超解像技術がないので、その高プロセス余裕下での形成は難しい。このため、微小孤立ホールの形成はデバイスの微細化を抑制する要因の一つとなっている。

【0004】

一方、規則的に配置されたホールパターンにおいては、上記した原理的制約により、形成される光学像の像質は一次元パターンである密集ラインパターンと比べて劣る。しかし、変形照明法に代表される超解像技術が存する。このため、優れた分離性能をもつ高解像フォトリソグレイの適用により、高プロセス裕度での高密度微細ホールの形成が可能である。

【0005】

他方、暗点像の形成においては、本件の発明者が開示しているように（特許文献 1 および非特許文献 1 参照）、最適変形照明下での位相シフトマスクによる位相打消し像を適用することで、ランダムな配置のパターンにおいて優れた像質が得られる。

【特許文献 1】特開 2004 - 251969 号公報

【非特許文献 1】S. Nakao et al., "Zero MEF Hole Formation with Atten-PSM and Modified Illumination", Proc. of SPIE Vol. 5040 (2003), pp. 1258-1269

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従来の位相シフトマスクによる位相反転像を適用したランダム配置のホールパターン形成では、上記したようにネガ型フォトリソグレイが必要となる。しかしながら、現状の最先

10

20

30

40

50

端技術である A r F エキシマレーザー露光においては、優れた特性のネガ型フォトリソは存在しない。このため、従来の方法においては、A r F エキシマレーザー波長においては実用に十分な特性を得ることが難しいという問題点があった。

【0007】

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、ポジ型のフォトリソ適用下で、ランダム配置のホールパターンを、高裕度で形成することができるパターンの形成方法、電子デバイスの製造方法および電子デバイスを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の実施の形態におけるパターンの形成方法は以下の工程を備えている。

まず被加工膜上に、第1のポジ型フォトリソを適用したパターン形成により、複数のホールパターンが密集した密集ホールパターンを有するマスク層が形成される。密集ホールパターンの複数のホールパターンの各々を埋め込むようにマスク層上に第2のポジ型フォトリソが形成される。第2のポジ型フォトリソにハーフトーン位相シフトマスクを用いて暗点像が投影され露光される。露光された第2のポジ型フォトリソを現像することにより、第2のポジ型フォトリソの暗点像部分に形成されるドットパターンがマスク層の複数のホールパターンのいずれかの内部に残される。マスク層と第2のポジ型フォトリソにより形成されたドットパターン（レジストプラグ）とをマスクとして、被加工膜がパターンングされる。ハーフトーン位相シフトマスクは、ドットパターン用の暗点像を生成する開口部を有するハーフトーン位相シフト膜を有している。第2のポジ型フォトリソにハーフトーン位相シフトマスクを用いて暗点像を投影し露光する工程は、開口部の存在しない領域でハーフトーン位相シフト膜を透過した露光光の光強度では第2のポジ型フォトリソが現像時に溶解され、かつ開口部によりドットパターン部分に形成される暗点像の光強度では第2のポジ型フォトリソが現像時に溶解されないような露光量で露光する工程を含む。

【発明の効果】

【0009】

本発明の実施の形態によれば、マスク層に密集ホールパターンが形成されるが、これはポジ型のフォトリソを用いて行うことができる。また、平面視においてランダムな配置を有するドットパターンの形成もポジ型のフォトリソを用いて行うことができる。このため、マスク層に密集ホールパターンを形成した後に、その密集ホールパターンのいずれかのホールパターンをドットパターンで埋め込むことで、平面視においてランダムな配置を有するホールパターンをポジ型のフォトリソを用いて形成することが可能となる。よって、ポジ型のレジスト適用下で、ランダム配置のホールパターンを、高裕度で形成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

以下、本発明の実施の形態について図に基づいて説明する。

（実施の形態1）

図1は、本発明の実施の形態1～4に共通のパターンの形成方法を示すフロー図である。図1を参照して、本実施の形態のパターン形成方法においては、まず被加工膜上に、密集ホールパターンを有するマスク層が形成される（ステップS1）。この密集ホールパターンを埋め込むように、マスク層上にポジ型フォトリソが形成される（ステップS2）。ポジ型フォトリソに高透過ハーフトーン（HT）位相シフトマスクによる明暗反転像である暗点像が投影露光される（ステップS3）。この明暗反転像である暗点像を形成できる高透過ハーフトーン位相シフトマスクの構成については後述する。露光されたポジ型フォトリソが現像される。これにより、暗点像部に形成されるドットパターン部分以外のポジ型フォトリソが除去される。またドットパターン部分のポジ型フォトリソが、密集パターンをなす複数のホールパターンのいずれかの内部に残存しレジストプラグとなる（ステップS4）。このポジ型フォトリソとマスク層とをマスクとして

被加工膜が選択的に除去されてパターンングされる（ステップS5）。これにより、被加工膜に平面視においてランダムな配置を有するホールパターンが形成される。

【0011】

次に、上記におけるマスク層がポジ型のフォトリソグである場合について具体的に説明する。

【0012】

図2は、マスク層がポジ型のフォトリソグである場合の図1のステップS1を具体的に示したフロー図である。また図3～図11は、本発明の実施の形態1におけるパターンの形成方法を工程順に示す概略断面図である。

【0013】

図3を参照して、まず、基板（たとえばウエハなど）1上に被加工膜2が形成される。

図4を参照して、被加工膜2上に、第1のポジ型のフォトリソグ3が塗布形成される（ステップS11：図2）。このとき、図示していないが、必要に応じて下層反射防止膜（BARC）および上層反射防止膜（TARC）が第1のポジ型フォトリソグ3の下層膜、上層膜として形成される。

【0014】

図5を参照して、第1の露光プロセスが行われる。密集ホールパターンを形成したハーフトーン位相シフトマスク20の光学像が、4重極照明を適用した投影光学系により第1のポジ型フォトリソグ3に投影され、第1のポジ型フォトリソグ3が露光される（ステップS12：図2）。本実施の形態では、露光波長（ ）はたとえば193nmであり、開口数（NA）がたとえば1.07の液浸露光系が適用される。

【0015】

なおハーフトーン位相シフトマスク20は、透明基板11とハーフトーン位相シフト膜12とを有している。透明基板11は、露光光を透過するように露光光に対して透明な材質よりなっている。ハーフトーン位相シフト膜12は、透明基板11上に形成され、かつ透明基板の一部表面を露出する開口部12aを複数個有している。このハーフトーン位相シフト膜12は、そのハーフトーン位相シフト膜12を透過した露光光の位相が開口部12aを透過した露光光の位相と異なる位相（たとえば180°異なる位相）となるように構成されている。また、波長に比べて大きい開口部を透過した露光光の光強度に対するハーフトーン位相シフト膜12を透過した露光光の光強度、すなわちハーフトーン位相シフト膜12の透過率は適宜設定されてもよく、たとえば20%程度であってもよい。

【0016】

この複数の開口部12aは、図12に示すように平面視において複数の縦線と複数の横線とが直交に交差する直交格子（例えば正方格子）を仮想したときに、複数の縦線と複数の横線とが交差する複数の交点の各々に規則正しく配置され、それにより密集ホールパターンを構成している。

【0017】

図6を参照して、上記において密集ホールパターンの光学像が露光された第1のポジ型フォトリソグ3が現像される。これにより、第1のフォトリソグ3に複数のホールパターン3aが形成される。この複数のホールパターン3aの各々は、配置ピッチがたとえば160nm、直径がたとえば60nmとなるように規則的に配置されることで密集ホールパターンを構成している（ステップS13：図2）。ここには図示しなかったが、前記したBARC膜、TARC膜を適用した場合、現像後にBARC膜はそのまま残存する。この残存したBARC膜は、後で示す第2の露光プロセスでもBARCとして働く。なおTARC膜は第1のフォトリソグ3の現像時もしくは現像前の処理により溶解除去される。

【0018】

この後、第1のフォトリソグ3から残存溶媒を揮散させることで第1のフォトリソグ3を固化させるハードニング処理が行われる。このハードニング処理は、第2の露光プロセスにおいて第1のフォトリソグ3上に塗布形成される他の第2のフォトリソグ4

10

20

30

40

50

が第1のフォトリソスト3と交じり合うことで、均一な膜形成が阻害されることを回避するために行われる。通常、このハードニング処理は、第1のフォトリソスト3への紫外光の照射、もしくは、電子線の照射、希ガスイオンの注入などにより行われる。本実施の形態においては、たとえば紫外光を照射することによりこのハードニング処理が行なわれる。

【0019】

図7を参照して、ハードニング処理をされた第1のフォトリソスト3の上に、複数のホールパターン3aの各々を埋め込むように、他の第2のポジ型フォトリソスト4が塗布形成される(ステップS2:図1)。このとき、図示していないが、必要に応じて下層反射防止膜(BARC)および上層反射防止膜(TARC)が第2のフォトリソスト4の下層膜、上層膜として形成される。本実施の形態では、第1のフォトリソスト3の下層膜として形成したBARC膜が第2のフォトリソスト4の塗布時にそのまま残っているので、この第2のフォトリソスト4の形成工程ではBARC膜は形成されない。TARC膜は精密なパターン形成に必要であるので、この第2のフォトリソスト4の上層膜として形成される。

【0020】

図8を参照して、第2の露光プロセスが行われる。ランダム配置ホールパターンを形成した高透過ハーフトーン位相シフトマスク30の光学像が、クロスボール照明を適用した投影光学系により第2のポジ型フォトリソスト4に投影され、第2のフォトリソスト4が露光される(ステップS3:図1)。本実施の形態では、露光波長()はたとえば193nmであり、開口数(NA)がたとえば1.07の液浸露光系が適用される。

【0021】

なお高透過ハーフトーン位相シフトマスク30は、透明基板21とハーフトーン位相シフト膜22とを有している。透明基板21は、露光光を透過するように露光光に対して透明な材質よりなっている。ハーフトーン位相シフト膜22は、透明基板21上に形成され、かつ透明基板21の一部表面を露出する開口部22aを1個もしくは複数個有している。このハーフトーン位相シフト膜22は、そのハーフトーン位相シフト膜22を透過した露光光の位相が開口部22aを透過した露光光の位相と異なる位相(たとえば180°異なる位相)となるように構成されている。また、波長に比べて十分に大きい開口部を透過した露光光の光強度に対するハーフトーン位相シフト膜を透過した露光光の光強度が15%以上25%以下である。開口部22aの寸法Wは、露光光の波長/開口数NAを1とした計測で0.26以上0.45以下であり、好ましくは0.32以上0.39以下である。

【0022】

ここで、開口部22aの寸法Wとは、開口部22aの平面形状が矩形状である場合にはその矩形の1辺の寸法を意味する。

【0023】

この1個もしくは複数個の開口部22aは、図13に示すように平面視において複数の縦線と複数の横線とが直交に交差する直交格子(例えば正方格子)を仮想したときに、複数の縦線と複数の横線とが交差する複数の交点のいずれかにランダムに配置され、それによりランダム配置ホールパターンを構成している。また図13における仮想の格子は図12における仮想の格子に一致している。このため、図13に示す開口部22aの位置は図12に示す複数のホールパターン12aのいずれかの位置に一致する。

【0024】

この高透過ハーフトーン位相シフトマスク30を用いた露光においては、ハーフトーン位相シフト膜22の開口部22aの明暗反転像である暗点像が第2のフォトリソスト4に投影される。つまり、通常のハーフトーン位相シフトマスクにおいては、開口部の形成された領域が明部となり、ハーフトーン位相シフト膜の形成された領域が暗部となる。これに対して、この高透過ハーフトーン位相シフトマスク30では、開口部22aの形成された領域が暗部となり、高透過ハーフトーン位相シフト膜22の形成された領域が明部とな

10

20

30

40

50

る。

【 0 0 2 5 】

このため露光量を適当に設定することで、開口部 2 2 a により形成される暗点像の光強度は第 2 のポジ型フォトレジスト 4 を現像時に溶解しないような光強度となる。また、高透過ハーフトーン位相シフト膜 2 2 の波長に比べて大きい形成領域部を透過した露光光の光強度は第 2 のポジ型フォトレジスト 4 を現像時に溶解するような光強度となる。

【 0 0 2 6 】

図 9 を参照して、上記においてランダム配置の暗点像が露光された第 2 のポジ型フォトレジスト 4 が現像されて、暗点像部分のレジストがドットパターンとして残存する。これにより、第 2 のフォトレジスト 4 のドットパターン部分が第 1 のフォトレジスト 3 の複数のホールパターン 3 a のいずれかの内部を埋め込む。ドットパターン部 4 がホールパターン 3 a 内を埋め込むことで、平面視においてランダムに配置されたホールパターンを得ることができる。

10

【 0 0 2 7 】

図 1 0 を参照して、フォトレジスト 3、4 をマスクとして被加工膜 2 がエッチングにより選択除去される。この後、フォトレジスト 3、4 がたとえばアッシングなどにより除去される。

【 0 0 2 8 】

図 1 1 を参照して、上記のエッチングにより、平面視においてランダムに配置されたホールパターン 2 a が被加工膜 2 に形成されて、本実施の形態のパターンが形成される。このように形成されるパターンは電子デバイスに適用され得る。

20

【 0 0 2 9 】

次に、上記パターンの形成方法における第 1 および第 2 の露光プロセスに用いられる投影露光装置について説明する。

【 0 0 3 0 】

図 1 4 は、本発明の実施の形態 1 における第 1 および第 2 の露光プロセスに用いられる投影露光装置の構成を概念的に示す図であり、特に第 2 の露光プロセスの場合を例示している。図 1 4 を参照して、この投影露光装置は、フォトマスク 3 0 (または 2 0) 上のパターンを基板 1 上の第 2 のフォトレジスト 4 に投射するものである。また投影露光装置は、光源 1 1 1 からフォトマスク 3 0 (または 2 0) のパターンまでの照明光学系と、フォトマスク 3 0 (または 2 0) のパターンから基板 1 までの投影光学系とを有している。

30

【 0 0 3 1 】

照明光学系は、光源 1 1 1 と、反射鏡 1 1 2 と、集光レンズ 1 1 8 と、フライアイレンズ 1 1 3 と、変形照明用の絞り 1 1 4 と、集光レンズ 1 1 6 a、1 1 6 b、1 1 6 c と、ブラインド絞り 1 1 5 と、反射鏡 1 1 7 とを有している。また投影光学系は投影レンズ 1 1 9 a、1 1 9 b と、瞳面絞り 1 2 5 とを有している。

【 0 0 3 2 】

その露光動作においては、まず光源 1 1 1 から発せられた光 1 1 1 a は、反射鏡 1 1 2 により反射される。次に、光 1 1 1 a は、集光レンズ 1 1 8 を通過して、フライアイレンズ 1 1 3 の各フライアイ構成レンズ 1 1 3 a の各々に入射し、その後に絞り 1 1 4 を通過する。

40

【 0 0 3 3 】

ここで、光 1 1 1 b は、1 個のフライアイ構成レンズ 1 1 3 a によって作り出された光路を示し、光 1 1 1 c はフライアイレンズ 1 1 3 によって作り出される光路を示している。絞り 1 1 4 を通過した光 1 1 1 a は、集光レンズ 1 1 6 a、ブラインド絞り 1 1 5 および集光レンズ 1 1 6 b を通過して、反射鏡 1 1 7 により所定角度で反射される。

【 0 0 3 4 】

反射鏡 1 1 7 により反射された光 1 1 1 a は、集光レンズ 1 1 6 c を透過した後、所定のパターンが形成されたフォトマスク 3 0 (または 2 0) の全面を均一に照射する。この後、光 1 1 1 a は投影レンズ 1 1 9 a、1 1 9 b により所定の倍率に縮小され、基板 1 上

50

の第2のフォトレジスト4を露光する。

【0035】

本実施の形態においては、第1および第2の露光プロセスの双方において位相シフトマスク30（または20）の照明は通常照明ではなく、変形照明により行なわれる。通常照明の場合、図15に示すように位相シフトマスク30（または20）に対して露光光が垂直に照射され、0次光および±1次光の3光束によりウエハ10のフォトレジストが露光される。しかし、位相シフトマスク30（または20）のパターンが微細になると、回折角度が大きくなるため、垂直照明では±1次光がレンズの中に入らなくなり、解像しなくなるおそれがある。

【0036】

そこで、図16に示すように変形照明により照明光束が位相シフトマスク30（または20）に対して斜めに入射される。これにより、位相シフトマスク30（または20）により回折した0次光と+1次光あるいは-1次光の2光束のみで露光することができ、解像性を得ることができる。

【0037】

本実施の形態の第2の露光プロセスの変形照明としてはクロスボール照明が用いられる。つまり、図17に示すように4つの透過部114aを有するクロスボール照明絞り114が図14の絞り114として用いられる。また本実施の形態の第1の露光プロセスの変形照明として4重極照明が用いられる。つまり、図18に示すように4つの透過部114aを有し、かつクロスボール照明を45°回転した形状を有する4重極照明絞り114が図18の絞り114として用いられる。

【0038】

次に、本実施の形態におけるパターン形成方法によって得られるパターンを有する電子デバイスの構造について説明する。

【0039】

図19は、本発明の実施の形態1における電子デバイスの構成を概略的に示す平面図である。図11の断面図は、図19のX I - X I線に沿う断面に対応している。図11および図19を参照して、本実施の形態の電子デバイスは、基板1と、その基板1上に形成された被加工膜2とを有している。被加工膜2には、平面視においてランダムに配置された複数のホールパターン2aが形成されている。この複数のホールパターン2aは、平面視において複数の縦線51と複数の横線52とが直交交差する直交格子（たとえば正方格子）を仮想したときに、その複数の縦線51と複数の横線52とが交差する複数の交点53のうち任意の交点53に配置されている。このホールパターン2aの平面的な寸法（直径）はたとえば60～70nmである。

【0040】

次に、図8に示す高透過ハーフトーン位相シフトマスク30を用いることにより、パターンの明暗反転像が得られる点について説明する。尚、本説明では露光波長を248nmとしており本実施の形態での193nmと異なるが、物理現象は波長に依存しないので現象としては193nmでも同様であることを、ここに付記する。

【0041】

図20～図23は、図8に示す高透過ハーフトーン位相シフトマスク30の開口部22aを孤立パターンとし、その孤立パターン22aの寸法Wに対して結像系により形成される光学像の変化を示す図である。各グラフでのパラメータはフォーカスである。光学条件として、露光光の波長は248nm、開口数NAは0.80、照明はクロスボール照明（ $I_{in}/I_{out} = 0.70/0.85$ ）である。そのクロスボール照明の絞り14の形状は図17に示すような4つの光透過部114aを有する形状である、また、位相シフトマスク30の透過率（ I_2/I_1 ）は20%である。

【0042】

高透過ハーフトーン位相シフトマスク30の開口部22aの寸法Wが大きいときには、従来のハーフトーン型位相シフトマスクによるパターン形成の場合にほぼ対応する。この

10

20

30

40

50

場合、図 20 に示すように開口部 22a の透過光の強度が、それを打ち消す位相関係となるハーフトーン位相シフト膜 22 の透過光の強度に比べ十分に大きくなる。このため、開口部 22a に対応する領域では、他の領域よりも明るい部分（光強度の高い部分）が形成される。

【0043】

開口部 22a の寸法 W を小さくしていくと、図 21 に示すように開口部 22a の透過光の強度が小さくなっていき、ハーフトーン位相シフト膜 22 の透過光による打ち消しが相対的に大きくなる。これにより、ハーフトーン位相シフト膜 22 の透過光の強度とほぼ同じ強度の像が形成されるようになる。このときは、像のコントラストが小さく、フォトリソにパターンを形成することが困難となる。

10

【0044】

さらに開口部 22a の寸法 W を小さくしていくと、開口部 22a の透過光強度とハーフトーン位相シフト膜 22 の透過光強度とがほぼ等しくなる。このとき、相互の位相が反位相の関係（つまり位相が 180° 異なる関係）となっているので、図 22 に示すように、開口部 22a に対応する領域では、他の領域よりも十分暗い暗点像が形成される。つまり、ハーフトーン位相シフト膜 22 のパターンの明暗反転像が得られることになる。この像をポジ型のフォトリソに適用すれば、フォトリソにドットパターンが形成されることになる。

【0045】

さらに開口部 22a の寸法 W を小さくしていくと、図 23 に示すように、今度は開口部 22a を透過した光の強度が、ハーフトーン位相シフト膜 22 の透過光の強度より小さくなり、打ち消しによる効果が小さくなることで、暗点の暗さが弱く（明るく）なっていく。

20

【0046】

さらに開口部 22a の寸法 W を小さくしていくと、開口部 22a が存在しないのと実質的に同じとなり、像のコントラストがなくなっていく。

【0047】

このように、上記の光学条件においては、図 22 に示すような明暗反転像が得られ、さらに明暗反転像における暗点像が優れたフォーカス特性を示すことがわかる。また、このような明暗反転像を得るためには、開口部 22a を透過した露光光の光強度に対するハーフトーン位相シフト膜 22 を透過した露光光の光強度の比により定義される光透過率が 15% 以上 25% 以下であることが必要がある。加えて、開口部 22a の寸法 W が、露光光の波長 / 開口数 NA を 1 とした計測で 0.26 以上 0.45 以下であることが必要であり、0.32 以上 0.39 以下であることが好ましい。このことは特開 2004-251969 号公報に記載されている。

30

【0048】

次に、第 1 および第 2 の露光プロセスにおける光学像を調べた結果について説明する。

図 24 は、第 1 の露光プロセスにおいて、20% 透過ハーフトーン位相シフトマスク 20 に形成された、ピッチ 160 nm で 2 次元に密集配置された 112 nm のホールパターンを結像した光学像の強度分布を示す等高線図である。光学条件として、露光光の波長は 193 nm、開口数 NA は 1.07、照明は 4 重極照明 ($\sigma_{in} / \sigma_{out} = 0.85 / 0.95$) である。また図 25 は、第 1 の露光プロセスにおける密集ホールの主断面に沿った位置 (Spatial Position) における光強度 (Relative Intensity) の分布を、フォーカスをパラメータとして示した図である。図 24 および図 25 を参照して、第 1 の露光プロセスにおいて得られる光学像はレジストの解像に十分なコントラストを有しており、フォーカスによる変化が小さく優れたフォーカス特性を有している。この光学像の特性より、ピッチ 160 nm で直径 ~ 60 nm の密集ホールパターンが第 1 のフォトリソ 3 に高裕度で形成されることがわかる。

40

【0049】

また図 26 は、第 1 の露光プロセスで形成される明点像の寸法すなわち Image CD (Cr

50

ritical Dimension) をフォーカスに対してプロットした図であり、スライスレベル (露光量に反比例する量) をパラメータとして示した図である。図 26 を参照して、第 1 の露光プロセスにおいてはデフォーカスによる CD 値の変動が少なく、優れたフォーカス特性が得られることが分かる。

【0050】

また図 27 は、第 2 の露光プロセスにおいて、20% 透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 に形成された 62 nm のホールパターンを結像した光学像の強度分布を示す等高線図である。光学条件として、露光光の波長は 193 nm、開口数 NA は 1.07、照明はクロスボール照明 ($I_{in} / I_{out} = 0.60 / 0.80$) である。この 62 nm のホールパターンは、第 1 のフォトレジスト 3 に形成された複数のホールパターンの一部の位置に対応して配置されている。図 27 を参照して、この光学像では 20% 透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 上のホールパターンに対応する部分が、位相打消しにより暗点像となっている。

10

【0051】

この暗点像により、その部分の第 2 のポジ型フォトレジスト 4 が現像時に非溶解となることで、現像後にこの部分 (ドットパターン部分) の第 2 のフォトレジスト 4 が残存する。これにより、下地であるフォトレジスト 3 に形成された複数のホールパターンの一部が、この第 2 のフォトレジスト 4 のドットパターン部分によりプラグされる。これが、第 2 の露光プロセスの役割である。

【0052】

20

また図 28 は、第 2 の露光プロセスにおいて、20% 透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 に形成された 62 nm のホールパターンを、上記した光学条件下で結像した光学像の強度分布を示す等高線図である。この 62 nm のホールパターンは、第 1 のフォトレジスト 3 に形成された複数のホールパターンのうち 1 個のホールパターンを除いた全てのホールパターンの位置に対応して配置されている。図 28 を参照して、この光学像では 20% 透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 上のホールパターンに対応する部分が、位相打消しにより暗部となっており、マスク 30 上のホールパターンのない部分は明部となっている。すなわち、このマスク 30 を用いた第 2 のフォトレジスト 4 のパターンニングでは、第 1 のフォトレジスト 3 に形成された密集ホールパターンのうち、1 個を除いた全てのホールパターンが、暗点像により形成される第 2 のフォトレジスト 4 のドットパターンによりプラグされる。これにより、被加工膜 2 に孤立ホールパターンを形成することができる。

30

【0053】

図 29 および図 30 は、第 2 の露光プロセスに用いられるマスクのホール非存在部分 (図 29) および孤立ホール存在部分 (図 30) の光学像の強度をフォーカスをパラメータにプロットした図である。図中にレジストの溶解・非溶解の境界となる像強度 (スライスレベル: 露光量によりその大きさは調整される) を破線で示している。

【0054】

図 29 および図 30 を参照して、ホール非存在部分におけるドットパターン部 (プラグ形成部) および孤立ホール存在部分におけるドットパターン部 (プラグ形成部) のどちらも、レジスト解像に十分な暗さになっている。また、フォーカスによる光強度の変化も小さい。すなわち、この光学像を露光することで、十分なプロセス裕度を有するドットパターンの形成が可能であると予測される。また、孤立ホール存在部分におけるホールパターン部では、第 2 のフォトレジスト 4 を感光させるに十分な強度を持った明点像が形成されている。

40

【0055】

以上より本実施の形態によれば、第 1 の露光プロセスにおいてハーフトーン位相シフトマスク 20 と変形照明により第 1 のポジ型フォトレジスト 3 に密集ホールパターンを形成することができる。その後、第 2 の露光プロセスにおいて、高透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 とクロスボール照明により形成されるランダム配置の暗点像により、上記第

50

1の露光プロセスにより形成された密集ホールパターンの任意の一部のホールパターン3a内を第2のフォトレジスト4によるドットパターンで埋め込むことができる。これにより、ランダム配置のホールパターンを形成することができる。このため、従来の方法では不可能であった、微細な寸法をもつ、ピッチが極めて小さい密集ホールパターンと孤立ホールパターンを含むランダム配置パターンの同時形成が可能となる。

【0056】

(実施の形態2)

本実施の形態においては、図5に示す第1の露光プロセスにおいて変形照明として図17に示すクロスボール照明を用いる点で実施の形態1と異なっている。このクロスボール照明を第1の露光プロセスに用いる場合には、図5に示すハーフトーン位相シフトマスク20の密集ホールパターンにおけるホールパターン12aの配置ピッチP1はたとえば120nmであり、平面寸法はたとえば88nmである。また、このハーフトーン位相シフトマスク20を用いて形成された第1のフォトレジスト3の密集ホールパターンにおけるホールパターン3aの配置ピッチはたとえば120nmであり、直径はたとえば60nmである。

【0057】

なお、本実施の形態における上記以外のパターン形成方法および電子デバイスの構成については上述した実施の形態1とほぼ同じであるため、その説明を省略する。

【0058】

次に、本実施の形態の第1および第2の露光プロセスにおける光学像を調べた結果について説明する。

【0059】

図31は、第1の露光プロセスにおいて、20%透過ハーフトーン位相シフトマスク20に形成された、ピッチ120nmで2次元に密集配置された88nmのホールパターンを結像した光学像の強度分布を示す等高線図である。光学条件として、露光光の波長は193nm、開口数NAは1.07、照明はクロスボール照明($I_{in}/I_{out} = 0.70/0.80$)である。また図32は、第1の露光プロセスにおける密集ホールの主断面に沿った位置(Spatial Position)における光強度(Relative Intensity)の分布を、フォーカスをパラメータとして示した図である。図31および図32を参照して、第1の露光プロセスにおいて得られる光学像はレジストの解像に十分なコントラストを有しており、フォーカスによる変化が小さく優れたフォーカス特性を有している。この光学像の特性より、ピッチ120nmで直径~60nmの密集ホールパターンが第1のフォトレジスト3に高裕度で形成されることがわかる。

【0060】

また図33は、第1の露光プロセスで形成される明点像の寸法すなわちImage CDをフォーカスに対してプロットした図であり、スライスレベルをパラメータとして示した図である。図33を参照して、第1の露光プロセスにおいてはデフォーカスによるCD値の変動が少なく、優れたフォーカス特性が得られることが分かる。

【0061】

また図34は、第2の露光プロセスにおいて、20%透過ハーフトーン位相シフトマスク30に形成された54nmのホールパターンを結像した光学像の強度分布を示す等高線図である。光学条件として、露光光の波長は193nm、開口数NAは1.07、照明はクロスボール照明($I_{in}/I_{out} = 0.60/0.80$)である。この54nmのホールパターンは、第1のフォトレジスト3に形成された複数のホールパターンの一部の位置に対応して配置されている。図34を参照して、この光学像では20%透過ハーフトーン位相シフトマスク30上のホールパターンに対応する部分が、位相打消しにより暗点となっている。

【0062】

この暗点像により、その部分の第2のポジ型フォトレジスト4が現像時に非溶解となることで、現像後にこの部分(ドットパターン部分)の第2のフォトレジスト4が残存する

。これにより、下地である第 1 のフォトレジスト 3 に形成された複数のホールパターンの一部が、この第 2 のフォトレジスト 4 のドットパターン部分によりプラグされる。これが、第 2 の露光プロセスの役割である。

【 0 0 6 3 】

また図 3 5 は、第 2 の露光プロセスにおいて、20%透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 に形成された 54nm のホールパターンを、上記した光学条件下で結像した光学像の強度分布を示す等高線図である。この 54nm のホールパターンは、第 1 のフォトレジスト 3 に形成された複数のホールパターンのうち 1 個のホールパターンを除いた全てのホールパターンの位置に対応して配置されている。図 3 5 を参照して、この光学像では 20%透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 上のホールパターンに対応する部分が、位相打消しにより暗部となっており、マスク 30 上のホールパターンのない部分は明部となっている。すなわち、このマスク 30 を用いた第 2 のフォトレジスト 4 のパターンニングでは、第 1 のフォトレジスト 3 に形成された密集ホールパターンのうち、1 個を除いた全てのホールパターンが、第 2 のフォトレジスト 4 のドットパターン部分によりプラグされる。これにより、被加工膜 2 に孤立ホールパターンを形成することができる。

10

【 0 0 6 4 】

図 3 6 および図 3 7 は、第 2 の露光プロセスに用いられるマスクのホール非存在部分（図 3 6）および孤立ホール存在部分（図 3 7）の光学像の強度をフォーカスをパラメータにプロットした図である。図中にレジストの溶解・非溶解の境界となる像強度（スライスレベル：露光量によりその大きさは調整される）を破線で示している。

20

【 0 0 6 5 】

図 3 6 および図 3 7 を参照して、ホール非存在部分におけるドットパターン部（プラグ形成部）および孤立ホール存在部分におけるドットパターン部（プラグ形成部）のどちらも、レジスト解像に十分な暗さになっている。また、フォーカスによる光強度の変化も小さい。すなわち、この光学像を露光することで、十分なプロセス裕度を有するドットパターンの形成が可能であると予測される。また、孤立ホール存在部分におけるホールパターン部では、第 2 のフォトレジスト 4 を感光させるに十分な強度を持った明点像が形成されている。

【 0 0 6 6 】

以上より本実施の形態によれば、第 1 の露光プロセスにおいてハーフトーン位相シフトマスク 20 と変形照明により第 1 のポジ型のフォトレジスト 3 に密集ホールパターンを形成することができる。その後、第 2 の露光プロセスにおいて、高透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 とクロスボール照明により形成されるランダム配置の暗点像により、上記第 1 の露光プロセスにより形成された密集ホールパターンの任意の一部のホールパターン 3 a 内を第 2 のフォトレジスト 4 によるドットパターンで埋め込むことができる。これにより、ランダム配置のホールパターンを形成することができる。このため、従来の方法では不可能であった、微細な寸法をもつ、ピッチが極めて小さい密集ホールパターンと孤立ホールパターンを含むランダム配置パターンの同時形成が可能となる。

30

【 0 0 6 7 】

（実施の形態 3）

40

本実施の形態においては、図 1 に示すフローにおけるマスク層がハードマスク層である点において実施の形態 1 と異なっている。以下、図 1 に示すフローにおけるマスク層がハードマスク層である場合について具体的に説明する。

【 0 0 6 8 】

図 3 8 は、マスク層がハードマスク層である場合の図 1 のステップ S 1 を具体的に示したフロー図である。また図 3 9 ~ 図 4 9 は、本発明の実施の形態 3 におけるパターンの形成方法を工程順に示す概略断面図である。

【 0 0 6 9 】

図 3 9 を参照して、まず、基板（たとえばウエハ）1 上に被加工膜 2 が形成される。この被加工膜 2 上にハードマスク層 5 が形成される（ステップ S 2 1：図 3 8）。このハー

50

ドマスク層 5 は、レジスト材料とは異なる材料から形成されており、たとえばシリコン窒化膜などから形成されている。

【0070】

図 40 を参照して、ハードマスク層 5 上に、第 1 のポジ型のフォトレジスト 3 が塗布形成される（ステップ S 2 2：図 3 8）。このとき、図示していないが、必要に応じて下層反射防止膜（BARC）および上層反射防止膜（TARC）が第 1 のポジ型フォトレジスト 3 の下層膜、上層膜として形成される。

【0071】

図 41 を参照して、第 1 の露光プロセスが行われる。密集ホールパターンを形成した 20 % 透過ハーフトーン位相シフトマスク 20 の光学像が、4 重極照明を適用した投影光学系により第 1 のポジ型フォトレジスト 3 に投影され、第 1 のフォトレジスト 3 が露光される（ステップ S 2 3：図 3 8）。本実施の形態では、露光波長（ ）はたとえば 193 nm であり、開口数（NA）がたとえば 1.07 の液浸露光系が適用される。

【0072】

なおハーフトーン位相シフトマスク 20 の構成は、実施の形態 1 のハーフトーン位相シフトマスク 20 の構成とほぼ同じであるため、その説明は省略する。

【0073】

図 42 を参照して、上記において密集ホールパターンマスクの光学像が露光された第 1 のポジ型フォトレジスト 3 が現像される。これにより、第 1 のフォトレジスト 3 に複数個のホールパターン 3 a が形成される。この複数のホールパターン 3 a の各々は、配置ピッチがたとえば 160 nm、直径がたとえば 60 nm となるように規則的に配置されることで密集ホールパターンを構成している（ステップ S 2 4：図 3 8）。

【0074】

図 43 を参照して、密集ホールパターンの形成された第 1 のフォトレジスト 3 をマスクとして、BARC 膜およびハードマスク層 5 が、ドライエッチングプロセスにより選択的に除去される。続いて、第 1 のフォトレジスト 3 が BARC 膜と共に、全面剥離除去される。

【0075】

図 44 を参照して、上記のプロセスによりハードマスク層 5 に複数のホールパターン 5 a が規則正しく配置された密集ホールパターンが形成される（ステップ S 2 5：図 3 8）。

【0076】

図 45 を参照して、密集ホールパターンの形成されたハードマスク層 5 の上に、複数のホールパターン 5 a の各々を埋め込むように、第 2 のポジ型フォトレジスト 4 が塗布形成される（ステップ S 2：図 1）。このとき、図示していないが、必要に応じて下層反射防止膜（BARC）および上層反射防止膜（TARC）が第 2 のフォトレジスト 4 の下層膜、上層膜として形成される。TARC は精密なパターン形成に必要であるので、この第 2 のフォトレジスト 4 の形成プロセスにおいても適用される。

【0077】

図 46 を参照して、第 2 の露光プロセスが行われる。ランダム配置ホールパターンを形成した高透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 の光学像が、クロスポール照明を適用した投影光学系により第 2 のポジ型フォトレジスト 4 に投影され、第 2 のフォトレジスト 4 が露光される（ステップ S 3：図 1）。本実施の形態では、露光波長（ ）はたとえば 193 nm であり、開口数（NA）がたとえば 1.07 の液浸露光系が適用される。

【0078】

なお高透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 の構成は、実施の形態 1 の高透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 の構成とほぼ同じであるため、その説明は省略する。

【0079】

この高透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 を用いた露光においては、ハーフトーン位相シフト膜 22 のパターンの明暗反転像が第 2 のフォトレジスト 4 に投影される。つま

10

20

30

40

50

り、本来のハーフトーン位相シフトマスクにおいては、ハーフトーン位相シフト膜の形成された領域が暗部となり、開口部の形成された領域が明部となるが、この高透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 では高透過ハーフトーン位相シフト膜 22 の形成された領域が明部となり、開口部 22 a の形成された領域が暗部となる。

【0080】

このため、高透過ハーフトーン位相シフト膜 22 の波長に比べて大きい形成領域部を透過した露光光の光強度は第 2 のポジ型フォトレジスト 4 を現像時に溶解するような光強度となる。また、開口部 22 a を透過した露光光の光強度は第 2 のポジ型フォトレジスト 4 を現像時に溶解しないような光強度となる。

【0081】

図 47 を参照して、上記においてランダム配置暗点像が露光された第 2 のポジ型フォトレジスト 4 が現像される。これにより、第 2 のフォトレジスト 4 の暗点像部がハードマスク層 5 の複数のホールパターン 5 a のいずれかの内部にドットパターン部 4 として残存する（ステップ S 4：図 1）。ドットパターン部 4 がホールパターン 5 a 内を埋め込むことで、平面視においてランダムに配置されたホールパターンを得ることができる。

【0082】

図 48 を参照して、第 2 のフォトレジスト 4 およびハードマスク層 5 をマスクとして被加工膜 2 がエッチングにより選択除去されてパターンニングされる（ステップ S 5：図 1）。この後、第 1 のフォトレジスト 3 がたとえばアッシングなどにより除去され、ハードマスク層 5 がエッチングなどにより除去される。

【0083】

図 49 を参照して、上記のエッチングにより、平面視においてランダムに配置されたホールパターン 2 a が被加工膜 2 に形成されて、本実施の形態のパターンが形成される。このように形成されるパターンは電子デバイスに適用され得る。

【0084】

本実施の形態におけるパターン形成方法によって得られるパターンを有する電子デバイスの構造は、図 19 に示す実施の形態 1 における電子デバイスの構成とほぼ同じであるため、その説明を省略する。

【0085】

また、本実施の形態の第 1 および第 2 の露光プロセスにおける光学像について調べた結果は、図 24 ~ 図 30 に示す実施の形態 1 とほぼ同じであるため、その説明を省略する。

【0086】

以上より本実施の形態によれば、第 1 の露光プロセスにおいてハーフトーン位相シフトマスク 20 と変形照明により第 1 のポジ型のフォトレジスト 3 に密集ホールパターンを形成することができる。また、この第 1 のフォトレジスト 3 をマスクとしてハードマスク層 5 に密集ホールパターンを転写することができる。この後、第 2 の露光プロセスにおいて、高透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 とクロスボール照明により形成されるランダム配置の暗点像により、上記ハードマスク層 5 に形成された密集ホールパターンの任意の一部のホールパターン 5 a 内を第 2 のフォトレジスト 4 によるドットパターンで埋め込むことができる。これにより、ランダム配置のホールパターンを形成することができる。このため、従来の方法では不可能であった、微細な寸法をもつ、ピッチが極めて小さい密集ホールパターンと孤立ホールパターンを含むランダム配置パターンの同時形成が可能となる。

【0087】

（実施の形態 4）

本実施の形態においては、図 41 に示す第 1 の露光プロセスにおいて変形照明として図 17 に示すクロスボール照明を用いる点において実施の形態 3 と異なっている。このクロスボール照明を第 1 の露光プロセスに用いる場合には、図 41 に示すハーフトーン位相シフトマスク 20 の密集ホールパターンにおけるホールパターン 12 a の配置ピッチ P 2 はたとえば 120 nm であり、平面寸法はたとえば 88 nm である。また、このハーフト

10

20

30

40

50

ーン位相シフトマスク20を用いて形成された第1のフォトレジスト3の密集ホールパターンにおけるホールパターン3aの配置ピッチはたとえば120nmであり、直径はたとえば60nmである。

【0088】

なお、本実施の形態における上記以外のパターン形成方法および電子デバイスの構成については上述した実施の形態3とほぼ同じであるため、その説明を省略する。

【0089】

また、本実施の形態の第1および第2の露光プロセスにおける光学像について調べた結果は、図31～図37に示す実施の形態2とほぼ同じであるため、その説明を省略する。

【0090】

以上より本実施の形態によれば、露光プロセスにおいてハーフトーン位相シフトマスク20と変形照明により第1のポジ型のフォトレジスト3に密集ホールパターンを形成することができる。また、この第1のフォトレジスト3をマスクとしてハードマスク層5に密集ホールパターンを転写することができる。この後、第2の露光プロセスにおいて、高透過ハーフトーン位相シフトマスク30とクロスボール照明により形成されるランダム配置の暗点像により、上記ハードマスク層5に形成された密集ホールパターンの任意の一部のホールパターン5a内を第2のフォトレジスト4によるドットパターンで埋め込むことができる。これにより、ランダム配置のホールパターンを形成することができる。このため、従来の方法では不可能であった、微細な寸法をもつ、ピッチが極めて小さい密集ホールパターンと孤立ホールパターンを含むランダム配置パターンの同時形成が可能となる。

【0091】

以上説明したように、上記の実施の形態1～4におけるパターン形成方法は、上記した従来技術の問題点を解決し、ポジ型フォトレジストにより、ランダム配置の微細ホールパターンの形成を可能とするためになされたものである。

【0092】

また上記の実施の形態1～4におけるパターン形成方法では、2回のパターン形成を連続的に行うことで、ポジ型フォトレジストでのランダム配置微細ホールパターン形成が可能となる。

【0093】

また上記の実施の形態1～4におけるパターン形成方法では、第1の露光プロセスにおいて変形照明法を適用することで、また第2の露光プロセスにおいて高透過ハーフトーンマスクによる明暗反転像を変形照明法と併せて適用することで、高プロセス裕度のパターン形成が可能となる。

【0094】

また上記の実施の形態1～4におけるパターン形成方法では、第1の露光プロセスにおいて変形照明法を適用することで、また第2の露光プロセスにおいて高透過ハーフトーンマスクによる明暗反転像を変形照明法と併せて適用することで、光近接効果補正(OPC)が不要なパターン形成が可能となる。

【0095】

また上記の実施の形態1～4におけるパターン形成方法では、第1の露光プロセスにおいて変形照明法を適用することで、また第2の露光プロセスにおいて高透過ハーフトーンマスクによる明暗反転像を変形照明法と併せて適用することで、開口数(NA)の小さい露光により、ランダム配置微細ホールパターンの形成が可能となる。よって、安価な露光機の適用が可能であり、工程に掛かる費用を小さくすることが可能である。

【0096】

また上記の実施の形態1～4におけるパターン形成方法では、第2の露光プロセスにおいてクロスボール照明が用いられている。これにより、第2の露光プロセスにおいて得られる光学像がレジストの解像に十分なコントラストを有するとともに、フォーカスによる変化が小さく優れたフォーカス特性を有することになる。以下、そのことを説明する。尚、本説明では露光波長を248nmとしており本実施の形態での193nmと異なるが、

10

20

30

40

50

物理現象は波長に依存しないので現象としては193nmでも同様であることを、ここに付記する。

【0097】

図50は、正方格子配置での照明形状の最適化を調べるための輪帯照明(a)、クロスボール照明(b)および4重極照明(c)の各絞りの形状を示す平面図と、図8に示す高透過ハーフトーン位相シフトマスク30の開口部22aのピッチPを変化させたときの、その開口パターン22aの寸法W(120nm~90nm)に対して結像系により形成される光学像の変化を示す図である。なお各グラフでのパラメータはフォーカスである。

【0098】

図50を参照して、輪帯照明は $i_n / o_{ut} = 65 / 80$ とし、クロスボール照明および4重極照明は $i_n / o_{ut} = 60 / 80$ とした。またクロスボール照明においては照明絞りの開口部の対角線方向(図中X方向およびY方向)が図13に示す仮想の直交格子の縦線、横線方向に一致するように配置した。また4重極照明においては照明絞りの開口部の対角線方向が図13に示す仮想の直交格子の縦線、横線方向に対して45°傾くように配置した。

【0099】

この結果、ハーフトーン位相シフト膜22の開口部の配置ピッチPによらず、クロスボール照明の場合には輪帯照明や4重極照明の場合と比較して、フォーカスによる変化が小さく優れたフォーカス特性が得られることが分かる。

【0100】

すなわち、図8に示す高透過ハーフトーン位相シフトマスク30では、孤立パターンと密集パターンとが混在していても良い特性が得られる。

【0101】

図51を参照して、上記の“孤立パターン”、“密集パターン”の意味するところを説明する。図51は、本発明の一実施の形態における位相シフトマスクにおいて孤立パターンと密集パターンとが混在している様子を示す概略平面図である。図51を参照して、孤立パターンとは、開口数NA/波長で計測した場合において、その孤立パターン2aの中心から半径R1が3の距離に他のパターンが存在していないパターンを指す。また、複数のパターンからなる密集パターンとは、開口数NA/波長で計測した場合において、1つのパターン2aの中心から半径R2が1の距離に他のパターン2aが存在しているパターンを指す。

【0102】

なお上記においては、パターンの形成方法としてたとえば半導体装置の製造方法について説明したが、これ以外に液晶表示装置、薄膜磁気ヘッドなどの電子デバイスの製造方法にも本発明は適用することができる。

【0103】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【産業上の利用可能性】

【0104】

本発明は、極微細な先端半導体集積回路の形成における、ホールパターン形成工程に特に有利に適用される。

【0105】

また本発明に係るパターン形成方法は先端半導体集積回路のうち、主に論理集積回路の製造に適用されることで、その効果をもっとも発揮すると考えられる。

【図面の簡単な説明】

【0106】

【図1】本発明の実施の形態1におけるパターンの形成方法を示すフロー図である。

10

20

30

40

50

【図 2】マスク層がポジ型のフォトレジストである場合の図 1 のステップ S 1 を具体的に示したフロー図である。

【図 3】本発明の実施の形態 1 におけるパターンの形成方法の第 1 工程を示す概略断面図である。

【図 4】本発明の実施の形態 1 におけるパターンの形成方法の第 2 工程を示す概略断面図である。

【図 5】本発明の実施の形態 1 におけるパターンの形成方法の第 3 工程を示す概略断面図である。

【図 6】本発明の実施の形態 1 におけるパターンの形成方法の第 4 工程を示す概略断面図である。

【図 7】本発明の実施の形態 1 におけるパターンの形成方法の第 5 工程を示す概略断面図である。

【図 8】本発明の実施の形態 1 におけるパターンの形成方法の第 6 工程を示す概略断面図である。

【図 9】本発明の実施の形態 1 におけるパターンの形成方法の第 7 工程を示す概略断面図である。

【図 10】本発明の実施の形態 1 におけるパターンの形成方法の第 8 工程を示す概略断面図である。

【図 11】本発明の実施の形態 1 におけるパターンの形成方法の第 9 工程を示す概略断面図である。

【図 12】第 1 の露光プロセスに用いられるフォトマスクのハーフトーン位相シフト膜に形成されるパターン形状を示す平面図である。

【図 13】第 2 の露光プロセスに用いられるフォトマスクのハーフトーン位相シフト膜に形成されるパターン形状を示す平面図である。

【図 14】本発明の実施の形態 1 におけるパターンの形成方法の第 1 および第 2 の露光プロセスに用いられる投影露光装置の構成を概念的に示す図である。

【図 15】通常照明を説明するための図である。

【図 16】変形照明を説明するための図である。

【図 17】クロスボール照明に用いられる照明絞りの一例を示す平面図である。

【図 18】4 重極照明に用いられる照明絞りの一例を示す平面図である。

【図 19】本発明の実施の形態 1 における電子デバイスの構成を概略的に示す平面図である。

【図 20】図 8 に示す高透過ハーフトーン位相シフトマスクの開口部を孤立パターンとし、その孤立パターンの寸法 $W = 280 \text{ nm}$ の場合の結像系により形成される光学像の強度を示す図である。

【図 21】図 8 に示す高透過ハーフトーン位相シフトマスクの開口部を孤立パターンとし、その孤立パターンの寸法 $W = 200 \text{ nm}$ の場合の結像系により形成される光学像の強度を示す図である。

【図 22】図 8 に示す高透過ハーフトーン位相シフトマスクの開口部を孤立パターンとし、その孤立パターンの寸法 $W = 120 \text{ nm}$ の場合の結像系により形成される光学像の強度を示す図である。

【図 23】図 8 に示す高透過ハーフトーン位相シフトマスクの開口部を孤立パターンとし、その孤立パターンの寸法 $W = 40 \text{ nm}$ の場合の結像系により形成される光学像の強度を示す図である。

【図 24】第 1 の露光プロセスにおいて、20%透過ハーフトーン位相シフトマスクに形成された、ピッチ 160 nm で 2 次元に密集配置された 112 nm ホールパターンを所定の光学条件下で結像した光学像の強度分布を示す等高線図である。

【図 25】第 1 の露光プロセスにおける密集ホールの主断面に沿った位置における光強度の分布を、フォーカスをパラメータとして示した図である。

【図 26】第 1 の露光プロセスで形成される明点像の寸法すなわち Image CD をフォーカ

10

20

30

40

50

スに対してプロットした図であり、スライスレベルをパラメータとして示した図である。

【図 27】第 2 の露光プロセスにおいて、20%透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 に形成された 62 nm ホールパターンを所定の光学条件下で結像した光学像の強度分布を示す等高線図である。

【図 28】第 2 の露光プロセスにおいて、20%透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 に形成された 62 nm ホールパターンを所定の光学条件下で結像した光学像の強度分布を示す等高線図である。

【図 29】第 2 の露光プロセスに用いられるマスクのホール非存在部分の光学像の強度をフォーカスをパラメータにプロットした図である。

【図 30】第 2 の露光プロセスに用いられるマスクの孤立ホール存在部分の光学像の強度をフォーカスをパラメータにプロットした図である。

【図 31】第 1 の露光プロセスにおいて、20%透過ハーフトーン位相シフトマスク 20 に形成された、ピッチ 120 nm で 2 次元に密集配置された 88 nm ホールパターンを所定の光学条件下で結像した光学像の強度分布を示す等高線図である。

【図 32】第 1 の露光プロセスにおける密集ホールの主断面に沿った位置における光強度の分布を、フォーカスをパラメータとして示した図である。

【図 33】第 1 の露光プロセスで形成される明点像の寸法すなわち Image CD をフォーカスに対してプロットした図であり、スライスレベルをパラメータとして示した図である。

【図 34】第 2 の露光プロセスにおいて、20%透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 に形成された 54 nm ホールパターンを所定の光学条件下で結像した光学像の強度分布を示す等高線図である。

【図 35】第 2 の露光プロセスにおいて、20%透過ハーフトーン位相シフトマスク 30 に形成された 54 nm ホールパターンを所定の光学条件下で結像した光学像の強度分布を示す等高線図である。

【図 36】第 2 の露光プロセスに用いられるマスクのホール非存在部分の光学像の強度をフォーカスをパラメータにプロットした図である。

【図 37】第 2 の露光プロセスに用いられるマスクの孤立ホール存在部分の光学像の強度をフォーカスをパラメータにプロットした図である。

【図 38】マスク層がハードマスク層である場合の図 1 のステップ S1 を具体的に示したフロー図である。

【図 39】本発明の実施の形態 3 におけるパターンの形成方法の第 1 工程を示す概略断面図である。

【図 40】本発明の実施の形態 3 におけるパターンの形成方法の第 2 工程を示す概略断面図である。

【図 41】本発明の実施の形態 3 におけるパターンの形成方法の第 3 工程を示す概略断面図である。

【図 42】本発明の実施の形態 3 におけるパターンの形成方法の第 4 工程を示す概略断面図である。

【図 43】本発明の実施の形態 3 におけるパターンの形成方法の第 5 工程を示す概略断面図である。

【図 44】本発明の実施の形態 3 におけるパターンの形成方法の第 6 工程を示す概略断面図である。

【図 45】本発明の実施の形態 3 におけるパターンの形成方法の第 7 工程を示す概略断面図である。

【図 46】本発明の実施の形態 3 におけるパターンの形成方法の第 8 工程を示す概略断面図である。

【図 47】本発明の実施の形態 3 におけるパターンの形成方法の第 9 工程を示す概略断面図である。

【図 48】本発明の実施の形態 3 におけるパターンの形成方法の第 10 工程を示す概略断面図である。

10

20

30

40

50

【図 4 9】本発明の実施の形態 3 におけるパターンの形成方法の第 1 1 工程を示す概略断面図である。

【図 5 0】正方格子配置での照明形状の最適化を調べるための輪帯照明 (a)、クロスボール照明 (b) および 4 重極照明 (c) の各絞りの形状を示す平面図と、図 8 に示すフォトマスクの各パターン形状における光強度の分布をフォーカスをパラメータとして示した図である。

【図 5 1】本発明の一実施の形態における位相シフトマスクにおいて孤立パターンと密集パターンとが混在している様子を示す概略平面図である。

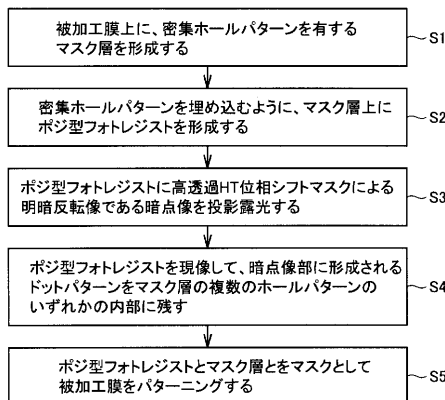
【符号の説明】

【 0 1 0 7 】

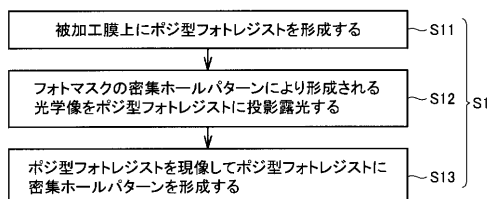
1 基板、2 被加工膜、2 a ホールパターン、3 第 1 のポジ型フォトレジスト、4 第 2 のポジ型フォトレジスト、3 a, 5 a ホールパターン、5 ハードマスク層、1 0 ウエハ、1 1, 2 1 透明基板、1 2 ハーフトーン位相シフト膜、1 2 a ホールパターン (開口部)、2 0 ハーフトーン位相シフトマスク、2 2 高透過ハーフトーン位相シフト膜、2 2 a 開口部、3 0 高透過ハーフトーン位相シフトマスク、1 1 4 絞り、1 1 4 a 光透過部。

10

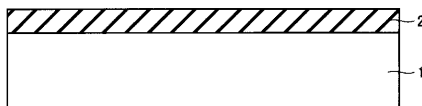
【図 1】



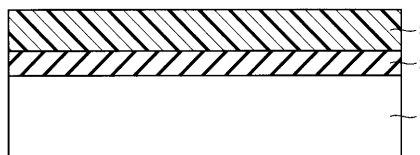
【図 2】



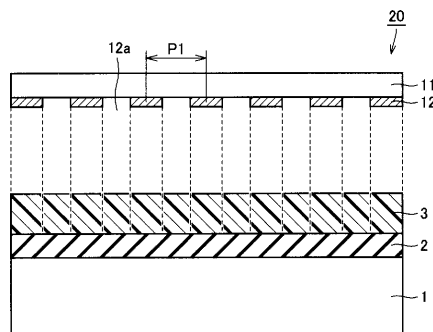
【図 3】



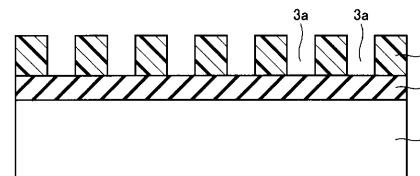
【図 4】



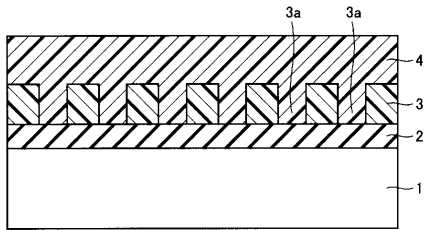
【図 5】



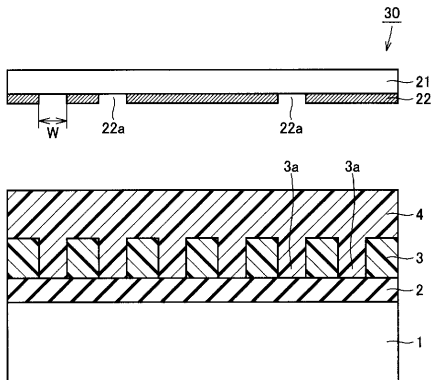
【図 6】



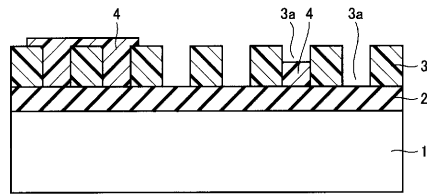
【図 7】



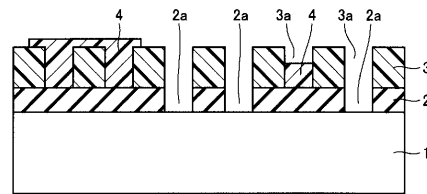
【図 8】



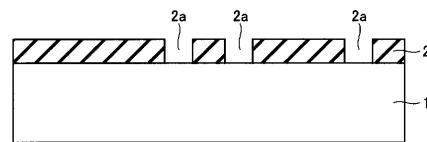
【図 9】



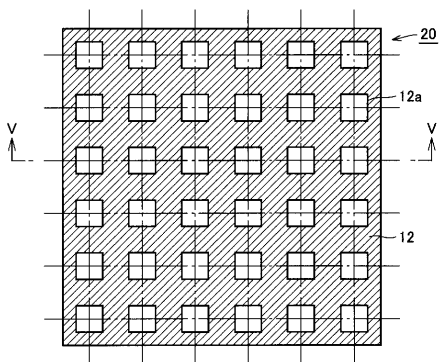
【図 10】



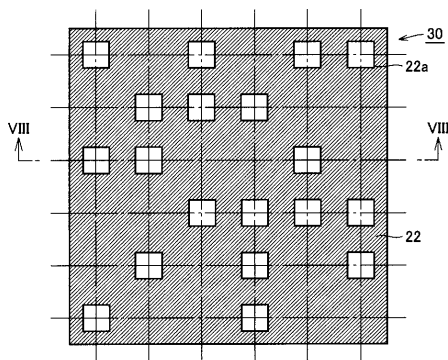
【図 11】



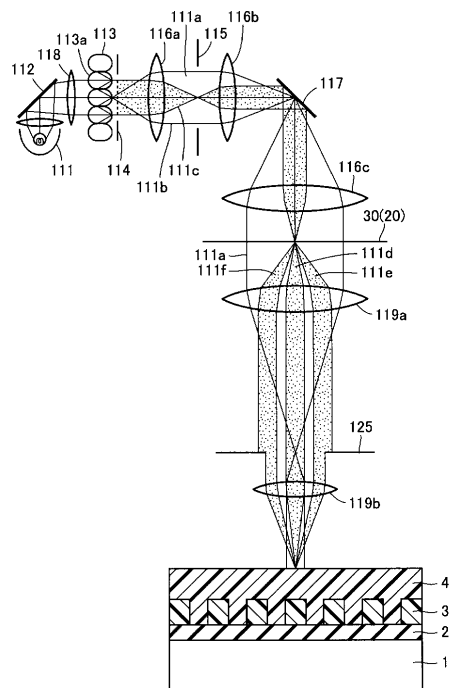
【図 12】



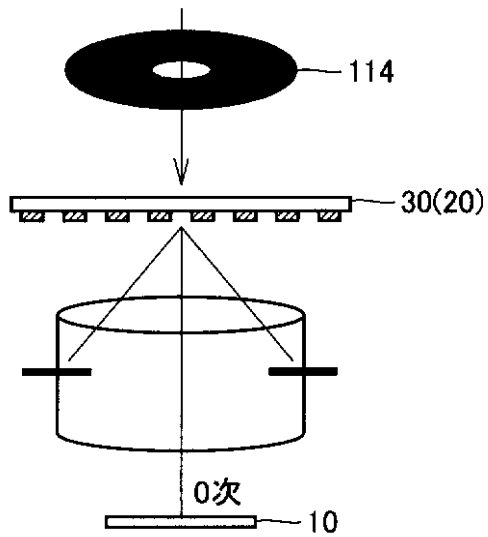
【図 13】



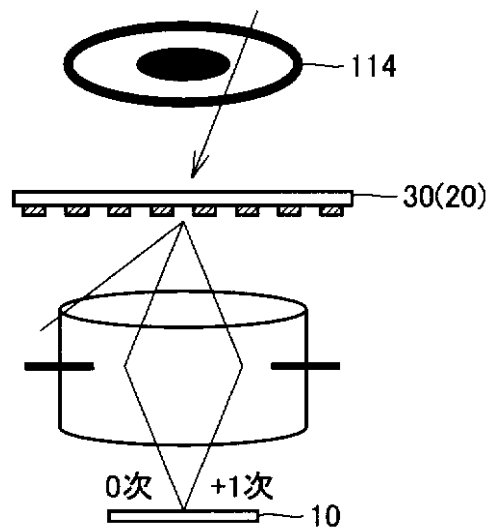
【図 14】



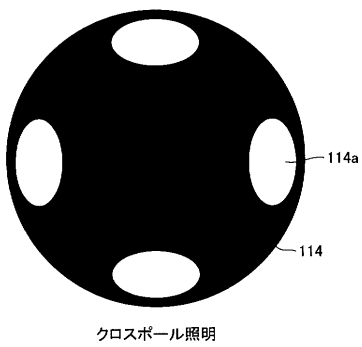
【図 15】



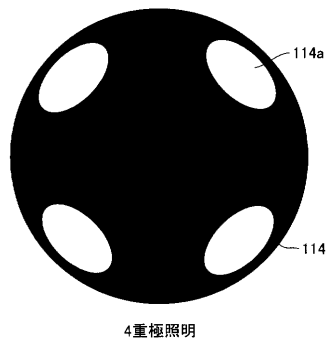
【図 16】



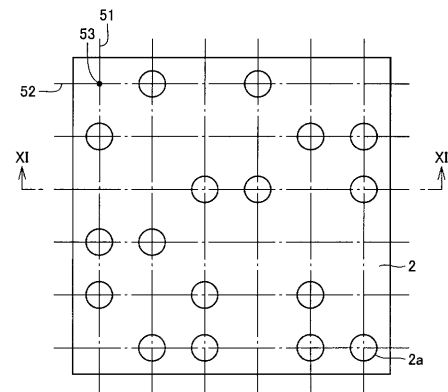
【図 17】



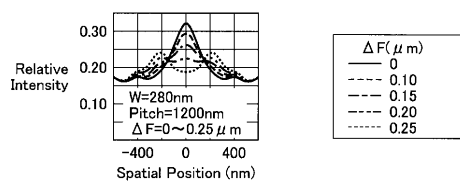
【図 18】



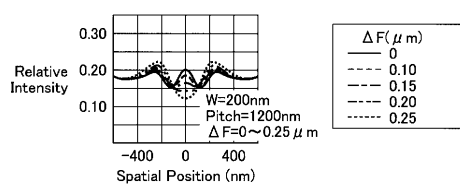
【図 19】



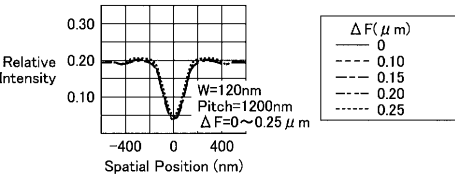
【図 20】



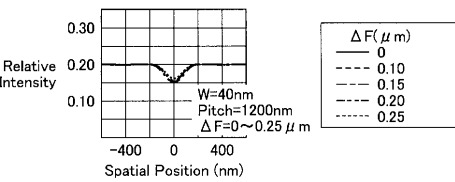
【図 21】



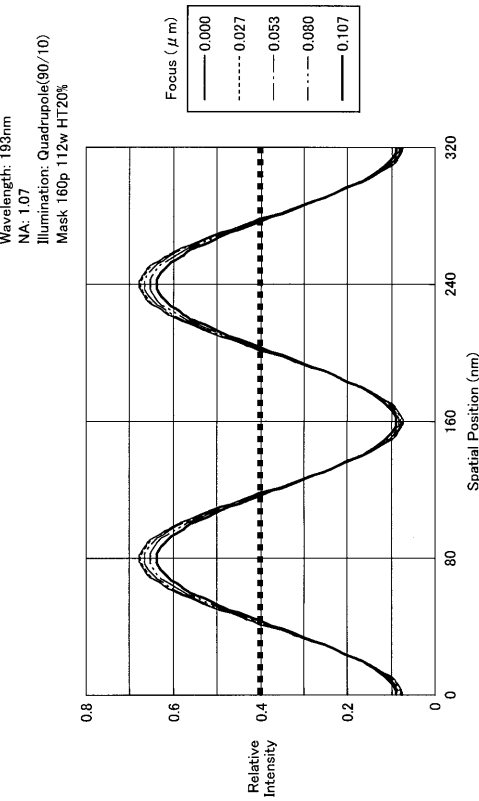
【図 2 2】



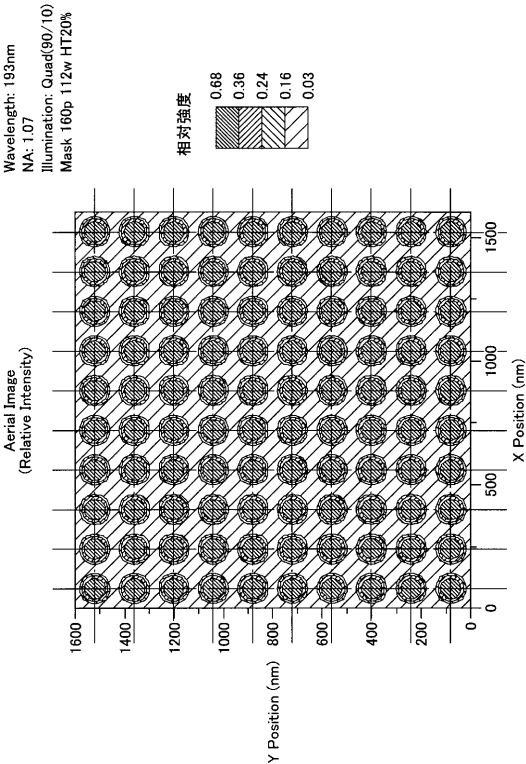
【図 2 3】



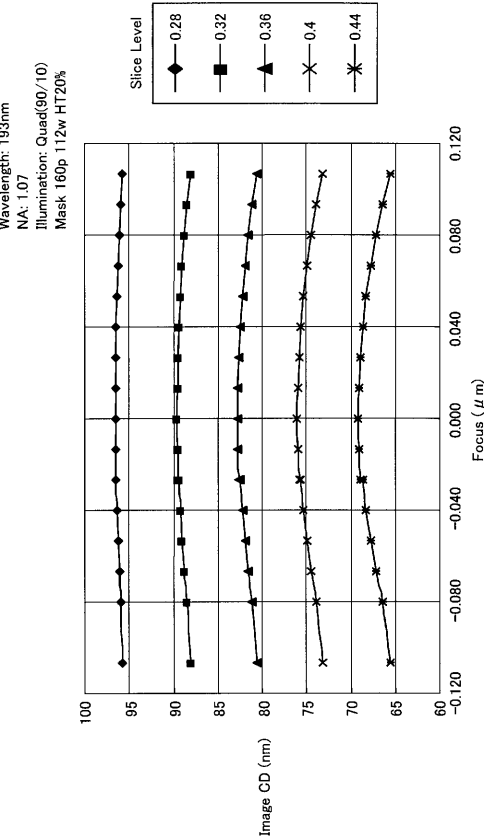
【図 2 5】



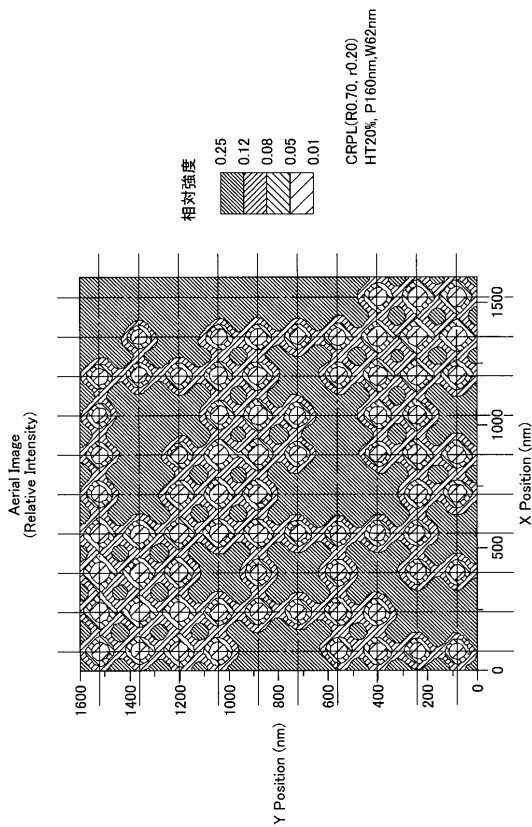
【図 2 4】



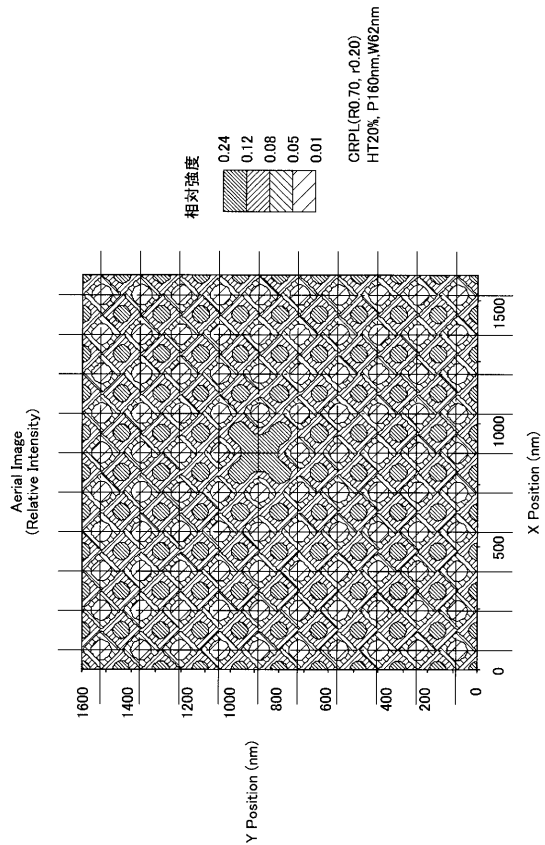
【図 2 6】



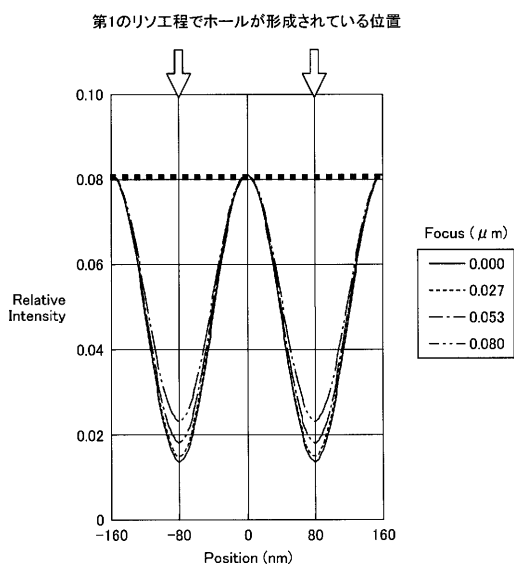
【図 27】



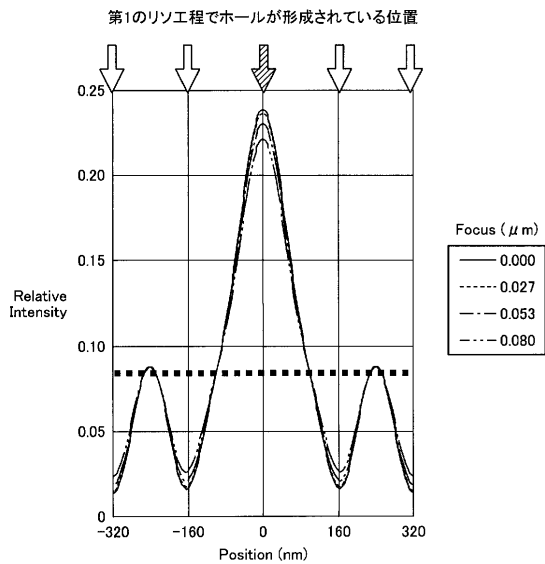
【図 28】



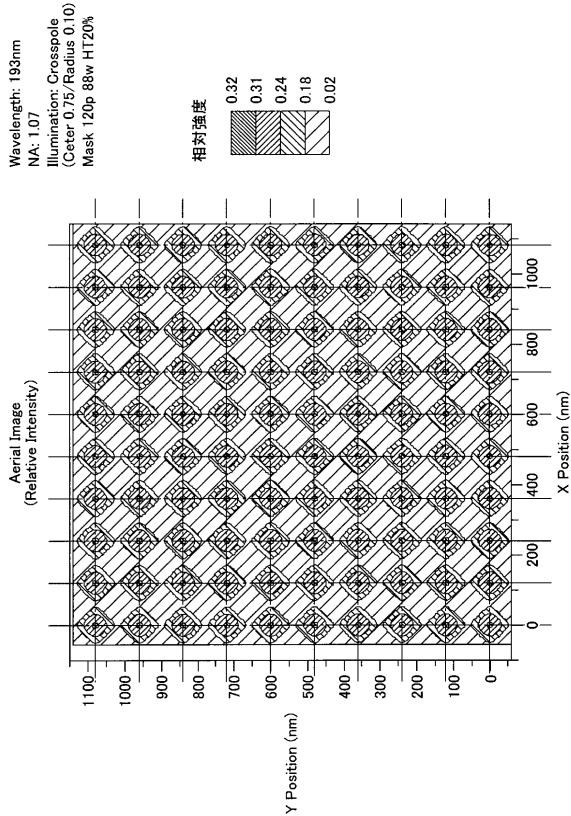
【図 29】



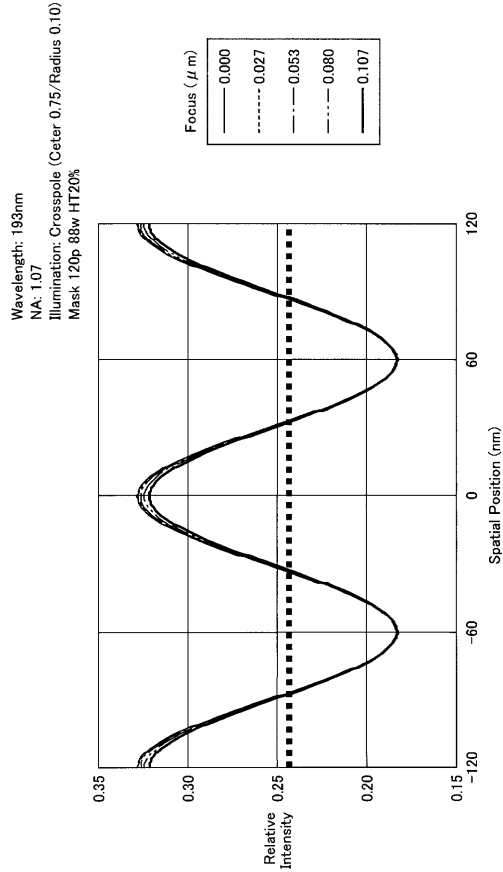
【図 30】



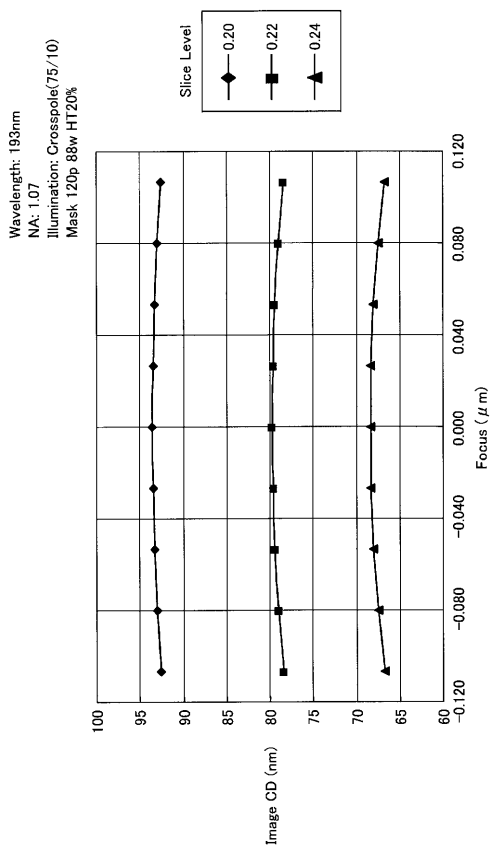
【 3 1 】



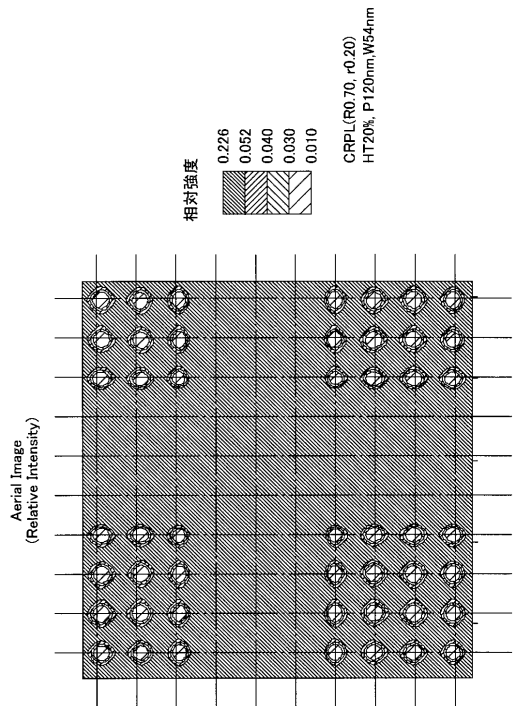
【 3 2 】



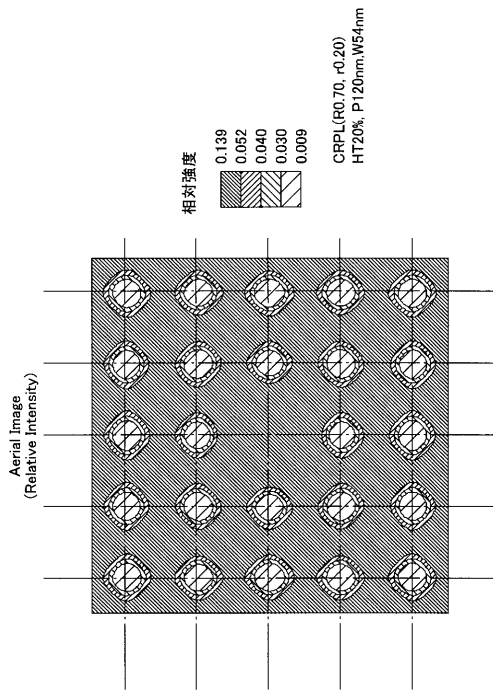
【 3 3 】



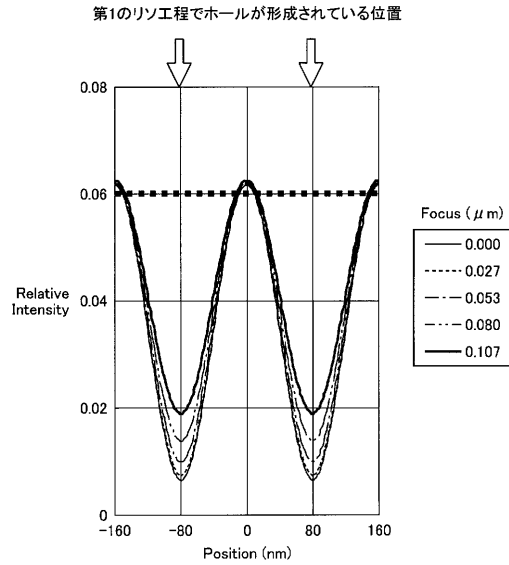
【 3 4 】



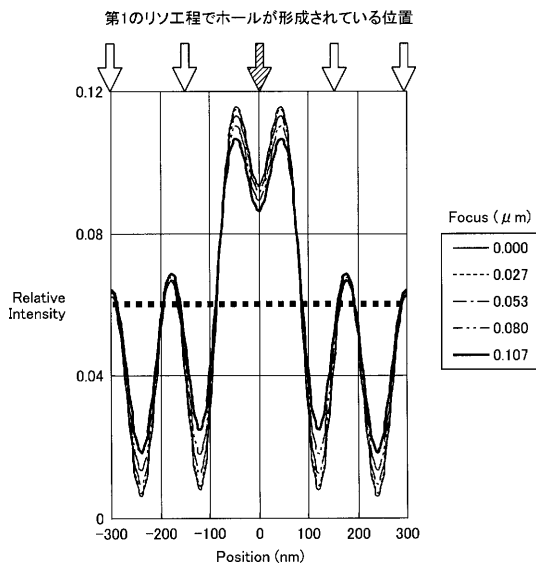
【図 35】



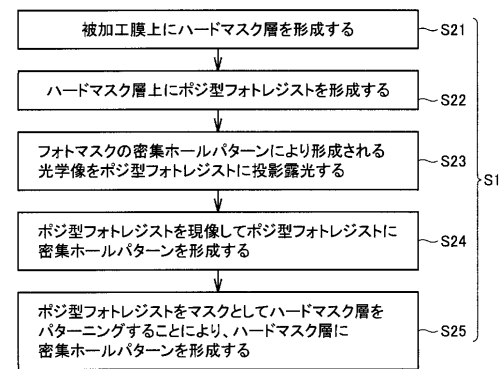
【図 36】



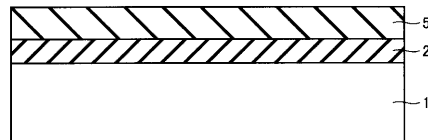
【図 37】



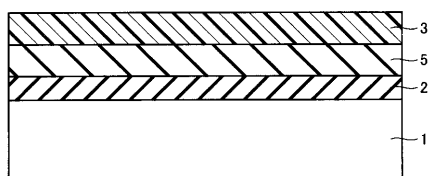
【図 38】



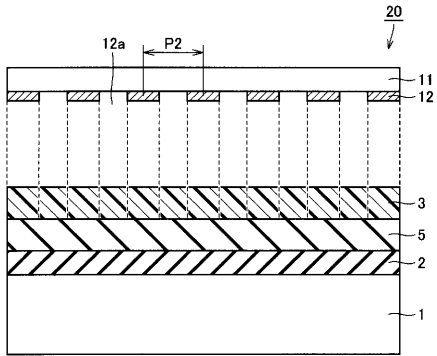
【図 39】



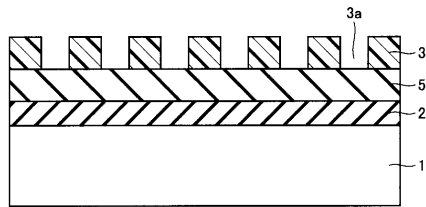
【図 40】



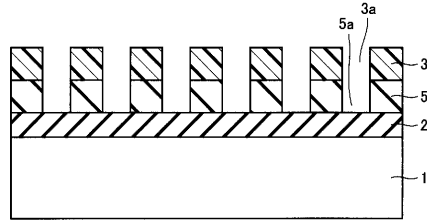
【図 4 1】



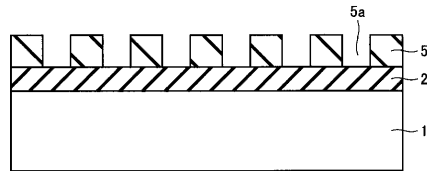
【図 4 2】



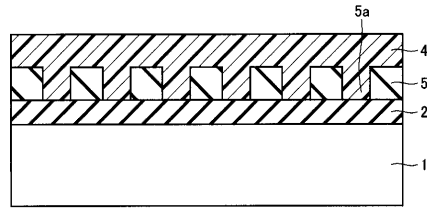
【図 4 3】



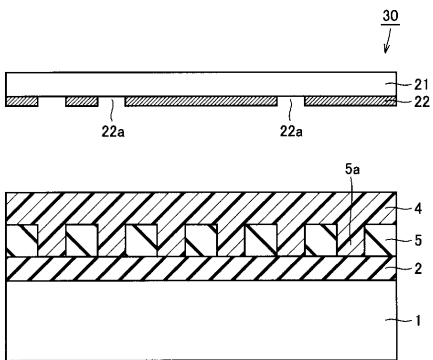
【図 4 4】



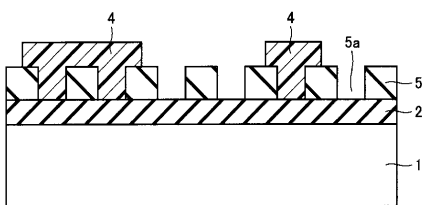
【図 4 5】



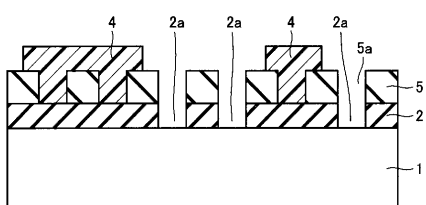
【図 4 6】



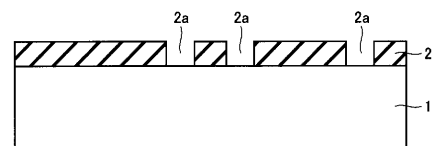
【図 4 7】



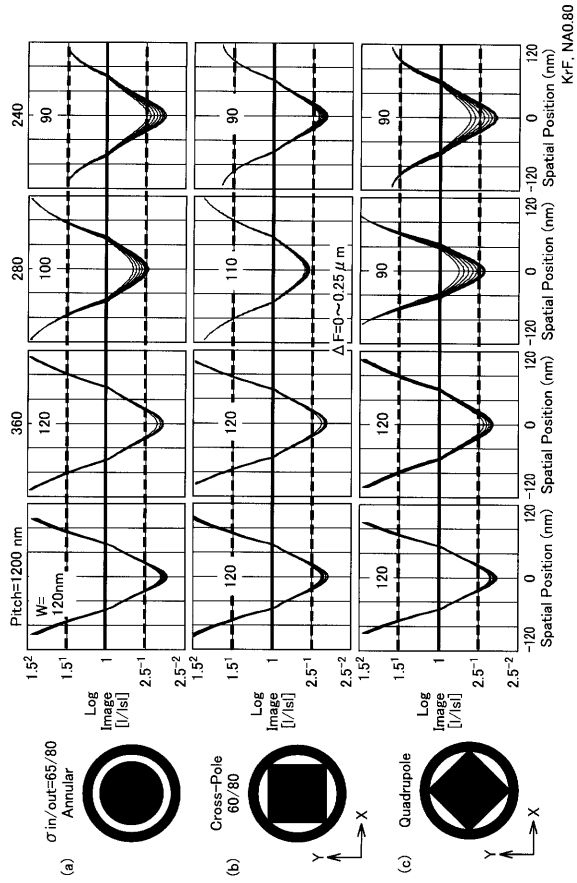
【図 4 8】



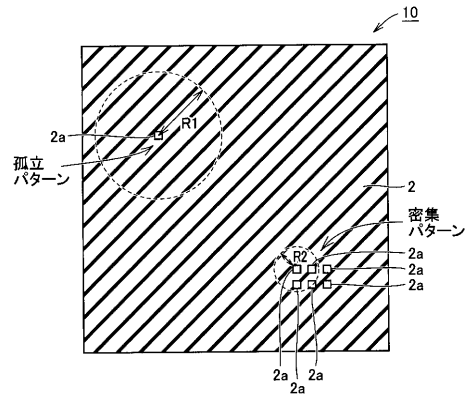
【図 4 9】



【図 50】



【図 51】



フロントページの続き

(72)発明者 中尾 修治

東京都千代田区丸の内二丁目４番１号 株式会社ルネサステクノロジ内

Fターム(参考) 2H096 AA25 BA09 EA05 EA23 GA01 JA04 KA09 KA10 KA16 KA18

KA22

5F046 AA13 AA25 BA04 DA01