

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7080070号

(P7080070)

(45)発行日 令和4年6月3日(2022.6.3)

(24)登録日 令和4年5月26日(2022.5.26)

(51)国際特許分類

F I

G 0 3 F 1/32 (2012.01)

G 0 3 F 1/32

G 0 3 F 7/20 (2006.01)

G 0 3 F 7/20

5 0 1

請求項の数 6 (全15頁)

(21)出願番号	特願2018-26667(P2018-26667)	(73)特許権者	000113263
(22)出願日	平成30年2月19日(2018.2.19)		H O Y A株式会社
(65)公開番号	特開2018-163335(P2018-163335 A)		東京都新宿区西新宿六丁目10番1号
(43)公開日	平成30年10月18日(2018.10.18)	(74)代理人	100091362
審査請求日	令和3年1月29日(2021.1.29)		弁理士 阿仁屋 節雄
(31)優先権主張番号	特願2017-59685(P2017-59685)	(74)代理人	100145872
(32)優先日	平成29年3月24日(2017.3.24)		弁理士 福岡 昌浩
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74)代理人	100161034
			弁理士 奥山 知洋
		(74)代理人	100187632
			弁理士 橘高 英郎
		(72)発明者	今敷 修久
			東京都新宿区西新宿六丁目10番1号
			H O Y A株式会社内
		審査官	植木 隆和

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 フォトマスク、及び表示装置の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

透明基板上に転写用パターンを備えた、表示装置製造用のフォトマスクであって、
前記転写用パターンは、開口数（NA）が0.08～0.20であり、i線、h線、又はg線を露光光に含む露光光源をもつ等倍の投影露光装置を用いた露光によって、被転写体上に径W2が0.8～3.0（ μm ）のホールを形成するためのホールパターンであって、
前記透明基板が露出した、径W1（ μm ）の透光部と、
前記透光部を囲む、幅R（ μm ）の遮光リム部と、
前記遮光リム部を囲む、位相シフト部を有し、
前記遮光リム部は、前記露光光に対する光学濃度が3.0以上であり、
前記位相シフト部と前記透光部の、前記露光光の代表波長の光に対する位相差が略180度であり、
前記透光部の片側に位置する前記位相シフト部を透過する前記露光光が被転写体上に形成する光強度分布において、前記位相シフト部と前記遮光リム部の境界位置から前記遮光リム部側に向かって、第1の谷の極小値点B1までの距離をd1（ μm ）とし、第2の谷の極小値点B2までの距離をd2（ μm ）とするとき、
($d1 - 0.5 \times W1$) R ($d2 - 0.5 \times W1$)
であることを特徴とする、フォトマスク。

【請求項2】

透明基板上に転写用パターンを備えた、表示装置製造用のフォトマスクであって、

前記転写用パターンは、開口数（NA）が $0.08 \sim 0.20$ であり、i 線、h 線、又は g 線を露光光に含む露光光源をもつ等倍の投影露光装置を用いた露光によって、被転写体上に径 W_2 が $0.8 \sim 3.0$ （ μm ）のホールを形成するためのホールパターンであって、前記透明基板が露出した、径 W_1 （ μm ）の透光部と、

前記透光部を囲む、幅 R （ μm ）の遮光リム部と、

前記遮光リム部を囲む、位相シフト部を有し、

前記遮光リム部は、前記露光光に対する光学濃度が 3.0 以上であり、

前記位相シフト部と前記透光部の、前記露光光の代表波長の光に対する位相差が略 180 度であり、

前記透光部の片側に位置する前記位相シフト部を透過する前記露光光が被転写体上に形成する光強度分布において、前記位相シフト部と前記遮光リム部の境界位置から前記遮光リム部側に向かって、第 1 の山の極大値点 P における光強度の $1/2$ を示す 2 つの点のうち、前記山の前記遮光リム部に近い側の傾斜部にある点を Q1、遠い側の傾斜部にある点を Q2 とし、前記境界位置から Q1 までの距離を d_3 とし、Q2 までの距離を d_4 とするとき、

$$(d_3 - 0.5 \times W_1) \leq R \leq (d_4 - 0.5 \times W_1)$$

であることを特徴とする、フォトマスク。

【請求項 3】

前記転写用パターンは、前記被転写体上に、径 W_2 （但し $W_2 \leq W_1$ ）のホールを形成するためのホールパターンであることを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載のフォトマスク。

【請求項 4】

前記位相シフト部は、前記代表波長の光に対して、 $2 \sim 10\%$ の透過率をもつことを特徴とする、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 5】

前記位相シフト部が有する位相シフト量の波長依存性は、i 線、h 線、及び g 線に対する変動幅が 40 度以下であることを特徴とする、請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 6】

請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載のフォトマスクを用意する工程と、

開口数（NA）が $0.08 \sim 0.20$ であり、i 線、h 線、又は g 線を含む露光光源をもつ等倍の投影露光装置を用いて、前記転写用パターンを露光し、被転写体上に、径 W_2 が $0.8 \sim 3.0$ （ μm ）のホールを形成する工程とを含む、表示装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電子デバイスを製造するためのフォトマスクであって、特にフラットパネルディスプレイ（FPD）製造用に好適なフォトマスクと、それを用いた表示装置の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体装置を製造するためのフォトマスクとして、ハーフトーン型位相シフトマスクが知られている。図 11 は、従来型のハーフトーン型位相シフトマスクの構成例を示すもので、(a) は平面模式図、(b) は (a) の B - B 位置の断面模式図である。

【0003】

図示したハーフトーン型位相シフトマスクでは、透明基板 100 上に位相シフト膜 101 が形成されるとともに、この位相シフト膜 101 がパターンニングされてホールパターンが形成されている。ホールパターンは、透明基板 100 が露出した透光部 103 からなる。ホールパターンの周囲は位相シフト部 104 が取り囲んでいる。位相シフト部 104 は、透明基板 100 上に形成された位相シフト膜 101 からなる。

【0004】

10

20

30

40

50

位相シフト部 104 の露光光の透過率は、例えば 6 % 程度とし、位相シフト量は、180 度程度とする。このとき、透光部 103 を透過した光と、位相シフト部 104 を透過した光とが互いに逆位相となる。これら逆位相の光は、透光部 103 と位相シフト部 104 の境界付近で干渉し、解像性能を向上させる効果を奏する。このようなハーフトーン型位相シフトマスクは、いわゆるバイナリマスクと比較して、解像性能だけでなく焦点深度 (DOF) についても改善効果を奏することが知られている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【文献】田邊功、法元盛久、竹花洋一、「入門フォトマスク技術」、株式会社工業調査会、2006 年 12 月 15 日、p. 245

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

液晶表示装置 (liquid crystal display) や有機 EL (Organic ElectroLuminescence) 表示装置などを含む表示装置においては、より明るく、かつ省電力であるとともに、高精細、高速表示、広視野角といった表示性能の向上が望まれている。

【0007】

例えば、上記表示装置に用いられる薄膜トランジスタ (Thin Film Transistor、「TFT」) で言えば、TFT を構成する複数のパターンのうち、層間絶縁膜に形成されたコンタクトホールが、確実に上層及び下層のパターンを接続させる作用をもたなければ正しい動作が保証されない。その一方、例えば液晶表示装置の開口率を極力大きくして、明るく、省電力の表示装置とするためには、コンタクトホールの径が十分に小さいことが求められるなど、表示装置の高密度化の要求に伴い、ホールパターンの径も微細化 (例えば 3 μ m 未満) が望まれている。例えば、径が 0.8 μ m 以上 2.5 μ m 以下、更には、径が 2.0 μ m 以下のホールパターンが必要となり、具体的には 0.8 ~ 1.8 μ m の径をもつパターンの形成も望まれると考えられる。

20

【0008】

ところで、表示装置に比べて、集積度が高く、パターンの微細化が顕著に進んだ半導体装置 (LSI) 製造用のフォトマスクの分野では、高い解像性を得るために、露光装置には高い開口数 NA (例えば 0.2 を越える) の光学系を適用し、露光光の短波長化がすすめられた経緯がある。その結果、この分野では、KrF や ArF のエキシマレーザー (それぞれ、248 nm、193 nm の単一波長) が多用されるようになった。

30

【0009】

その一方、表示装置製造用のリソグラフィ分野では、解像性向上のために、上記のような手法が適用されることは、一般的ではない。例えばこの分野で用いられる露光装置がもつ光学系の NA (開口数) は、0.08 ~ 0.12 程度であり、今後を展望しても、0.08 ~ 0.20 程度が適用される環境にある。また、露光光源も i 線、h 線、又は g 線が多用され、主にこれらを含んだブロード波長光源を使用することで、大面積を照射するための光量を得て、生産効率やコストを重視する傾向が強い。

40

【0010】

また、表示装置の製造においても、上記のようにパターンの微細化要請が高くなっている。ここで、半導体装置製造用の技術を、表示装置の製造にそのまま適用することには、いくつかの問題がある。例えば、高 NA (開口数) をもつ高解像度の露光装置への転換には、大きな投資が必要になり、表示装置の価格との整合性が得られない。また、露光波長の変更 (ArF エキシマレーザーのような短波長を用いる) については、やはり相当の投資を必要とする点で不都合である。つまり、従来にないパターンの微細化を追求する一方、既存のメリットであるコストや効率を失うことはできないという点が、表示装置製造用のフォトマスクの問題点となっている。

【0011】

50

本発明者の検討によると、上記図 11 に示すハーフトーン型位相シフトマスクを表示装置製造用のフォトマスクとして使用する際に、後述する課題があり、更なる改善の余地があることが明らかになった。

【0012】

フォトマスクに対して望まれる性能には、以下の(1)～(3)の要素がある。

【0013】

(1) 焦点深度(DOF)

露光時に、デフォーカスが生じた場合に、目標CDに対し、CDの変動が所定範囲内(例えば $\pm 10\%$ 以内)となるための焦点深度の大きさをいう。DOFの数値が高ければ、被転写体の平坦度の影響を受けにくく、安定してパターン転写が行える。ここでCDとは、Critical Dimensionの略であり、パターン幅の意味で用いる。表示装置製造用のフォトマスクは、半導体装置製造用のフォトマスクと比較して、サイズが大きく、また、被転写体(ディスプレイパネル基板等)も大サイズであり、いずれも平坦性を完璧なものとするのが困難であるため、DOFの数値を高められるフォトマスクの意義が大きい。

10

【0014】

(2) マスク誤差増大係数(MEEF: Mask Error Enhancement Factor)

フォトマスク上のCD誤差と被転写体上に形成されるパターンのCD誤差の比率を示す数値である。一般に、パターンが微細化するほど、フォトマスク上のCD誤差が被転写体上で拡大されやすいが、極力これを抑えてMEEFを低くすることにより、被転写体上に形成されるパターンのCD精度を高めることができる。表示装置の仕様が進化し、パターンの微細化が要求されるとともに、露光装置の解像限界に近い寸法のパターンをもつフォトマスクが必要となったことから、表示装置製造用フォトマスクにおいても、今後MEEFが重要視される可能性が高い。

20

【0015】

(3) Eop

目標寸法のパターンを被転写体上に形成するために必要な露光光量である。表示装置の製造においては、フォトマスク基板のサイズが大きい(例えば主表面が一辺300～2000mmの四角形)。このため、Eopの数値が高いフォトマスクを用いると、スキャン露光の速度を下げる必要が生じ、生産効率が阻害される。故に、表示装置を製造する際には、Eopの数値を低減できるフォトマスクを使用することが望まれる。

30

【0016】

本発明者の検討によると、上記図 11 に示すハーフトーン型位相シフトマスクでは、DOFの改善効果が得られる一方、EopやMEEFの点では、更に改善が望まれることが分かった。具体的には、上記ハーフトーン型位相シフトマスクを用いると、光強度の損失によって必要光量(Dose)が増えるため、Eopが大幅に増加し、これに伴ってMEEFも大きくなってしまいう傾向があり、表示装置製造用のフォトマスクとしては課題が残ることがわかった。

【0017】

そこで本発明は、表示装置の製造に適用される露光条件において、優れた解像性と生産効率を両立できるフォトマスクを提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0018】

(第1の態様)

本発明の第1の態様は、
透明基板上に転写用パターンを備えた、表示装置製造用のフォトマスクであって、
前記転写用パターンは、被転写体上にホールを形成するためのホールパターンであって、
前記透明基板が露出した、径W1(μm)の透光部と、
前記透光部を囲む、幅R(μm)の遮光リム部と、
前記遮光リム部を囲む、位相シフト部からなり、

50

前記位相シフト部と前記透光部の、露光光の代表波長の光に対する位相差が略 180 度であり、

前記透光部の片側に位置する前記位相シフト部を透過する露光光が被転写体上に形成する光強度分布において、前記位相シフト部と前記遮光リム部の境界位置から前記遮光リム部側に向かって、第 1 の谷の極小値点 B 1 までの距離を d_1 (μm) とし、第 2 の谷の極小値点 B 2 までの距離を d_2 (μm) とするとき、

$$(d_1 - 0.5 \times W_1) \leq R \leq (d_2 - 0.5 \times W_1)$$

であることを特徴とする、フォトマスクである。

(第 2 の態様)

本発明の第 2 の態様は、

透明基板上に転写用パターンを備えた、表示装置製造用のフォトマスクであって、

前記転写用パターンは、被転写体上にホールを形成するためのホールパターンであって、

前記透明基板が露出した、径 W_1 (μm) の透光部と、

前記透光部を囲む、幅 R (μm) の遮光リム部と、

前記遮光リム部を囲む、位相シフト部からなり、

前記位相シフト部と前記透光部の、露光光の代表波長の光に対する位相差が略 180 度であり、

前記透光部の片側に位置する前記位相シフト部を透過する露光光が被転写体上に形成する光強度分布において、前記位相シフト部と前記遮光リム部の境界位置から前記遮光リム部側に向かって、第 1 の山の極大値点 P における光強度の $1/2$ を示す 2 つの点のうち、前記山の前記遮光リム部に近い側の傾斜部にある点を Q_1 、遠い側の傾斜部にある点を Q_2 とし、前記境界位置から Q_1 までの距離を d_3 とし、 Q_2 までの距離を d_4 とするとき、

$$(d_3 - 0.5 \times W_1) \leq R \leq (d_4 - 0.5 \times W_1)$$

であることを特徴とする、フォトマスクである。

(第 3 の態様)

本発明の第 3 の態様は、

前記転写用パターンは、前記被転写体上に、径 W_2 (但し $W_2 > W_1$) のホールを形成するためのホールパターンであることを特徴とする、上記第 1 の態様又は第 2 の態様に記載のフォトマスクである。

(第 4 の態様)

本発明の第 4 の態様は、

前記位相シフト部は、前記代表波長の光に対して、2 ~ 10 % の透過率をもつことを特徴とする、上記第 1 ~ 第 3 の態様のいずれか 1 つに記載のフォトマスクである。

(第 5 の態様)

本発明の第 5 の態様は、

開口数 (NA) が 0.08 以上、0.20 未満であり、i 線、h 線、又は g 線を含む露光光源をもつ等倍の投影露光装置を用いて、前記転写用パターンを露光し、被転写体上に、径 W_2 が 0.8 ~ 3.0 (μm) のホールを形成することに用いる、上記第 1 ~ 第 4 の態様のいずれか 1 つに記載のフォトマスクである。

(第 6 の態様)

上記第 1 ~ 第 4 の態様のいずれか 1 つに記載のフォトマスクを用意する工程と、

開口数 (NA) が 0.08 ~ 0.15 であり、i 線、h 線、又は g 線を含む露光光源をもつ等倍の投影露光装置を用いて、前記転写用パターンを露光し、被転写体上に、径 W_2 が 0.8 ~ 3.0 (μm) のホールを形成する工程とを含む、表示装置の製造方法である。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、表示装置の製造に適用される露光条件において、優れた解像性と生産効率を両立できるフォトマスクを提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

10

20

30

40

50

【図 1】(a) は、従来型のハーフトーン型位相シフトマスクの断面を示す図であり、(b) は、(a) において透光部の左側の位相シフト部を透過した光の振幅を示す図である。

【図 2】図 1 (b) において、光の位相が (+) 側に転じた山の部分を、透光部から通過させて被転写体上に到達させるための手段についての考察を説明する図である。

【図 3】本発明の実施形態に係るフォトマスクの構成例を示すもので、(a) は平面模式図、(b) は (a) の A - A 位置の断面模式図である。

【図 4】(a) は、本発明の実施形態に係るフォトマスクにおいて遮光リム部の幅を狭く設定した場合の転写用パターンの一部を示す平面図であり、(b) は、その場合にフォトマスクの左側の位相シフト部を透過する透過光が被転写体上に形成する光強度分布を示す図 (その 1) である。

10

【図 5】(a) は、本発明の実施形態に係るフォトマスクにおいて遮光リム部の幅を広く設定した場合の転写用パターンの一部を示す平面図であり、(b) は、その場合にフォトマスクの左側の位相シフト部を透過する透過光が被転写体上に形成する光強度分布を示す図 (その 1) である。

【図 6】(a) は、本発明の実施形態に係るフォトマスクにおいて遮光リム部の幅を狭く設定した場合の転写用パターンの一部を示す平面図であり、(b) は、その場合にフォトマスクの左側の位相シフト部を透過する透過光が被転写体上に形成する光強度分布を示す図 (その 2) である。

【図 7】(a) は、本発明の実施形態に係るフォトマスクにおいて遮光リム部の幅を広く設定した場合の転写用パターンの一部を示す平面図であり、(b) は、その場合にフォトマスクの左側の位相シフト部を透過する透過光が被転写体上に形成する光強度分布を示す図 (その 2) である。

20

【図 8】遮光リム部の幅の変化による M E E F の値についてのシミュレーション結果を示す図である。

【図 9】遮光リム部の幅の変化による E o p の値についてのシミュレーション結果を示す図である。

【図 10】本実施形態のフォトマスク (リム幅 $R = 1.0 \mu m$) を、露光装置によって露光したときに、被転写体上に形成される光学像 (すなわち、透過光の光強度分布) を、同じ径のホールパターンをもつバイナリマスク (Binary)、及び、従来型のハーフトーン型位相シフトマスク (Att. PSM) と比較した図である。

30

【図 11】従来型のハーフトーン型位相シフトマスクの構成例を示すもので、(a) は平面模式図、(b) は (a) の B - B 位置の断面模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

図 1 (a) は、従来型のハーフトーン型位相シフトマスクの断面を示す図であり、(b) は、(a) において透光部の片側の位相シフト部を透過した光の振幅を示す図である。尚、図 1 (b) は透光部 103 の左側に位置する位相シフト部 104 を透過した光の振幅を示している。透光部 103 の右側に位置する位相シフト部 104 を透過した光は、透光部 103 の中心に対して図 1 (b) の透過光振幅とは左右対称な透過光振幅を示すが、ここでは図示を省略している。

40

【0022】

ここで、透光部 103 を透過する光 (不図示) の位相を (+) 位相とすると、位相シフト部 104 を透過して、被転写体上の、透光部 103 の左側境界から中心付近に対応する領域に到達する光は、(-) 位相となる。そしてこの光は、透光部 103 を透過する (+) 位相の光と干渉する。このため、透光部 103 を透過する光の強度は相対的に弱められる。つまり、(+) 位相の光と (-) 位相の光の干渉によって、透光部 103 を透過して被転写体上に到達する光の強度が減少する。この現象は、透光部 103 の寸法が微細化すると顕著になる。

【0023】

但し、位相シフト部 104 を透過する光の振幅カーブは、上記境界位置から更に透光部 1

50

03側(図中、右側)において、その位相が(+)側に転じ、光振幅の極大値点をもつ山を形成する。そこで本発明者は、この山の部分を形成する(+)位相の透過光を利用することにより、上記した光強度減少の作用を抑え、むしろ光強度を増大させて、EOPやMEEFの改善効果を得る可能性を検討した。

【0024】

図2は、上記図1(b)において、光の位相が(+)側に転じた山の部分を、被転写体上における透光部に対応する位置に位置させるための手段について行った考察を説明する図である。ここでは、位相シフト部104の透光部103側のエッジ付近に、遮光膜106によって遮光リム部105を形成している。このように遮光リム部105を形成すると、遮光膜106で覆われた位相シフト膜101の部分は、位相シフト部104として機能しない。このため、位相シフト部104の透光部103側のエッジは、遮光リム部105を形成しない場合に比べて、より左側にシフトする。これは、位相シフト部104による光の振幅カーブを、左側にシフトさせることを意味する。

10

【0025】

これにより、位相シフト部104を透過した光の振幅カーブのうち、その位相が(+)側に転じた山の部分が左側にシフトする。このため、その山を形成する振幅カーブの極大値点付近を、透光部103の幅寸法内(好ましくは、透光部103の中心位置又はその近傍)に位置させることができる。このようにすれば、露光光をより効率的に利用することが可能となる。本発明は、このような本発明者の知見に基づいてなされたものである。

【0026】

<実施形態のフォトマスクの構成>

図3は、本発明の実施形態に係るフォトマスクの構成例を示すもので、(a)は平面模式図、(b)は(a)のA-A位置の断面模式図である。

20

【0027】

図示したフォトマスクは、透明基板10上に転写用パターンを備えた、表示装置製造用のフォトマスクである。この転写用パターンは、被転写体上にホールを形成するためのホールパターンであって、透明基板10が露出した、径W1(μm)の透光部11と、透光部11を囲む、幅R(μm)の遮光リム部12と、遮光リム部12を囲む位相シフト部13とを有する。透明基板10は、透明なガラス等によって構成されている。

【0028】

遮光リム部12には、透明基板10上に遮光膜15が形成されている。遮光膜15の光学濃度(OD)は、好ましくは、OD2であり、より好ましくは、OD3である。遮光リム部12は、遮光膜15の単層でもよく、位相シフト膜14と遮光膜15の積層膜でもよい。位相シフト膜14と遮光膜15の積層順(透明基板10の厚さ方向の位置関係)に特に制限はない。遮光膜15の材料は、Cr又はその化合物(酸化物、窒化物、炭化物、酸化窒化物、又は酸化窒化炭化物)であっても良く、又は、Mo、W、Ta、Tiを含む金属化合物であってもよい。金属化合物としては、金属シリサイド、又は、該シリサイドの上記化合物であってもよい。また、遮光膜15の材料は、ウェットエッチングが可能であり、かつ、位相シフト膜14の材料(後述)に対してエッチング選択性をもつ材料が好ましい。また、遮光膜15や位相シフト膜14は、その表面側、及び/又は裏面側に、光の反射を制御する反射制御層を設けたものであってもよい。

30

40

【0029】

位相シフト部13は、透明基板10上に位相シフト膜14を形成してなるものである。位相シフト膜14は、Cr又はその化合物(酸化物、窒化物、炭化物、酸化窒化物、又は酸化窒化炭化物)であっても良く、又は、Mo、W、Ta、Tiを含む金属化合物であってもよい。金属化合物としては、金属のシリサイド、又は、該シリサイドの上記化合物であってもよい。位相シフト膜14の材料としては、Zr、Nb、Hf、Ta、Mo、TiのいずれかとSiを含む材料、又は、これらの材料の酸化物、窒化物、酸化窒化物、炭化物、又は酸化窒化炭化物を含む材料からなるとすることができ、更にSiの上記化合物であってもよい。また、位相シフト膜14の材料は、ウェットエッチングが可能な材料が好ま

50

しい。

【0030】

ここで、位相シフト部13と透光部11の、露光光の代表波長の光に対する位相差 ϕ は、略180度である。略180度とは、120～240度を意味する。上記位相差 ϕ は、好ましくは、150～210度である。

また、位相シフト膜のもつ、位相シフト量の波長依存性は、i線、h線、及びg線に対し、変動幅が40度以内であることが好ましい。

【0031】

遮光リム部12は、露光光の代表波長の光を実質的に透過しない遮光膜15であって、光学濃度OD₂（好ましくはOD₃）の膜を、透明基板10上に形成してなるものである。また、位相シフト部13は、露光光の代表波長の光に対して、2～10%の透過率T₁（%）をもつことが好ましい。より好ましくは3～8%、更に好ましくは、3<T₁<6である。透過率が過度に高い場合には、被転写体上に形成されるレジストパターンにおいて、残膜厚が損なわれる不都合が生じやすく、また、透過率が低すぎると、以下に説明する反転位相の透過光強度カーブの寄与が得にくくなる。

尚、ここでの透過率は、透明基板10の透過率を基準（100%）としたときの、上記代表波長の光の透過率とする。また、露光光には、i線、h線、g線のいずれかを含む光、又はi線、h線、g線のすべてを含むブロード波長光を用いることができる。代表波長とは、露光に用いる光に含まれる波長のうち、いずれかの波長（例えばi線）とする。

【0032】

本実施形態のフォトリソマスクにおいて、透光部11の径W₁（μm）は、好ましくは、0.8<W₁<4.0である。図3に例示する転写用パターンにおいては、透光部11の平面視形状が正方形であり、この場合径W₁は、正方形の一辺の寸法である。透光部11の平面視形状が長方形の場合には、長辺の寸法を径W₁とする。透光部11の形状は四角形が好ましく、特に正方形が好ましい。

W₁が大きすぎると、表示装置用露光装置の解像限界寸法を十分に上回るために、従来のフォトリソマスクによって十分な解像性が得られ、本発明による向上効果は顕著には生じない。一方、W₁が小さすぎると、フォトリソマスク製造時に安定して正確なCDを得にくい。

より好ましくは、0.8<W₁<3.5である。また、更なる微細化が望まれる場合には、1.0<W₁<3.0、更には、1.2<W₁<2.5としてもよい。

【0033】

本実施形態のフォトリソマスクが備える転写用パターンによって、被転写体上に径W₂（μm）のホールを形成する場合、好ましくは、0.8<W₂<3.0である。被転写体上に形成されるホールの径W₂は、対向する2つの辺の間の距離の、最も大きい部分の長さをいう。

【0034】

すなわち、フォトリソマスクの透光部11の径W₁と被転写体のホールの径W₂との関係は、好ましくは、W₁>W₂であり、より好ましくは、W₁>W₂である。また、（μm）をマスクバイアス値（W₁-W₂）とし、>0（μm）とすると、バイアス値（μm）は、好ましくは、0.2<W₁-W₂<1.0であり、より好ましくは、0.2<W₁-W₂<0.8である。

【0035】

図4（a）は、本発明の実施形態に係るフォトリソマスクにおいて遮光リム部の幅を相対的に狭く設定した場合の転写用パターンの一部（図3の点線で囲まれた部分）を示す平面図であり、（b）は、その場合にフォトリソマスクの左側の位相シフト部を透過する透過光が被転写体上に形成する光強度分布を示す図である。また、図5（a）は、本発明の実施形態に係るフォトリソマスクにおいて遮光リム部の幅を相対的に広く設定した場合の転写用パターンの一部（図3の点線で囲まれた部分）を示す平面図であり、（b）は、その場合にフォトリソマスクの左側の位相シフト部を透過する透過光が被転写体上に形成する光強度分布を示す図である。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 6 】

図 4 (b) 及び図 5 (b) に示すように、透光部 1 1 の片側 (図中、左側) に位置する位相シフト部 1 3 を透過する露光光が被転写体上に形成する光強度分布を曲線で描くと、位相シフト部 1 3 と遮光リム部 1 2 の境界位置から遮光リム部 1 2 側 (図中、右側) に向かって、第 1 の谷、第 1 の山、第 2 の谷が出現する。第 1 の山は、上記図 1 に示した光の振幅カーブにおいて、その位相が (+) 側に転じた部分の山に対応する。

【 0 0 3 7 】

ここで、上記境界位置から、第 1 の谷の極小値点 B 1 (図 4) までの距離を d_1 (μm) とし、第 2 の谷の極小値点 B 2 (図 5) までの距離を d_2 (μm) とするとき、遮光リム部 1 2 の幅 R (μm) は、下記の (1) 式を満たすように設定することが好ましい。

$$(d_1 - 0.5 \times W_1) \leq R \leq (d_2 - 0.5 \times W_1) \quad \cdots (1)$$

尚、図 4 は上記 (1) 式における遮光リム部 1 2 の幅 R の下限について示し、図 5 は上限について示している。

【 0 0 3 8 】

上記 (1) 式を満たすように遮光リム部 1 2 の幅 R を設定すると、位相シフト部 1 3 の透過光のうち、(+) 位相の透過光を、透光部 1 1 の中央に位置させることができる。すなわち、位相シフト部 1 3 を透過する透過光のうち、(+) 位相の部分の少なくとも一部によって、透光部 1 1 を透過する (+) 位相の透過光とともに、被転写体上に到達させ、その光強度のピークを高める作用を得ることが可能となる。

【 0 0 3 9 】

次に、位相シフト部 1 3 を透過する透過光のうち、(+) 位相のより多くの部分を、被転写体上に到達させるためのパターン構成について、図 6 及び図 7 を用いて考察する。

【 0 0 4 0 】

図 6 (a) は、本発明の実施形態に係るフォトマスクにおいて遮光リム部の幅を相対的に狭く設定した場合の転写用パターンの一部 (図 3 の点線で囲まれた部分) を示す平面図であり、(b) は、その場合にフォトマスクの左側の位相シフト部を透過する透過光が被転写体上に形成する光強度分布を示す図である。また、図 7 (a) は、本発明の実施形態に係るフォトマスクにおいて遮光リム部の幅を相対的に広く設定した場合の転写用パターンの一部 (図 3 の点線で囲まれた部分) を示す平面図であり、(b) は、その場合にフォトマスクの左側の位相シフト部を透過する透過光が被転写体上に形成する光強度分布を示す図である。

【 0 0 4 1 】

図 6 (b) 及び図 7 (b) に示すように、透光部 1 1 の片側 (図中、左側) に位置する位相シフト部 1 3 を透過する露光光が被転写体上に形成する光強度分布を曲線で描くと、上記同様に、位相シフト部 1 3 と遮光リム部 1 2 の境界位置から遮光リム部 1 2 側 (図中、右側) に向かって、第 1 の谷、第 1 の山、第 2 の谷が出現する。

この場合、第 1 の山の極大値点 P における光強度の $1/2$ を示す 2 つの点のうち、第 1 の山の遮光リム部 1 2 に近い側 (図中、左側) の傾斜部にある点を Q 1、遠い側 (図中、右側) の傾斜部にある点を Q 2 とし、上記境界位置から Q 1 までの距離を d_3 (図 6) とし、Q 2 までの距離を d_4 (図 7) とするとき、遮光リム部 1 2 の幅 R (μm) は、下記の (2) 式を満たすように設定することが好ましい。

$$(d_3 - 0.5 \times W_1) \leq R \leq (d_4 - 0.5 \times W_1) \quad \cdots (2)$$

尚、図 6 は上記 (2) 式における遮光リム部 1 2 の幅 R の下限について示し、図 7 は上限について示している。

【 0 0 4 2 】

上記 (2) 式を満たすように遮光リム部 1 2 の幅 R を設定すると、位相シフト部 1 3 の透過光のうち、(+) 位相であって、その光強度が大きい部分 (上方の約半分) を、透光部 1 1 の中央に位置させることができる。すなわち、位相シフト部 1 3 を透過する透過光のうち、(+) 位相の山のピーク (極大値点 P) に近い部分を確実に透光部 1 1 の寸法内中央付近に位置させて、被転写体上に到達させ、その光強度のピークを、より効率的に高め

10

20

30

40

50

る作用を得ることができる。

【0043】

本実施形態のフォトマスクによれば、位相シフト部13を透過した光の振幅カーブのうち、(+)位相に転じた山の部分の位置をシフトさせ、(+)位相の山のより多くの部分を、透光部11の寸法内に位置させることができる。これにより、露光光をより効率的に利用することが可能となる。その結果、表示装置の製造に適用される露光条件において、優れた解像性と生産効率を両立することができる。具体的には、例えば、開口数(NA)が0.08 < NA < 0.20、コヒーレンスファクタ()が0.4 < 0.9の露光条件において、MEEF及びEopに優れたフォトマスクを実現することができる。

より好ましくは、 $0.08 < NA < 0.20$

更には、 $0.10 < NA < 0.15$

であることが望ましい。

また、より好ましくは、

$0.4 < \text{ } < 0.7$

更に好ましくは、

$0.4 < \text{ } < 0.6$

である。

本実施形態のフォトマスクが有する転写用パターンは、被転写体上にホールを形成するためのものであり、透明基板が露出した、径W1(μm)の透光部と、透光部を囲む、幅R(μm)の遮光リム部と、遮光リム部を囲む、位相シフト部からなる。換言すれば、このホールを形成するための他の構成(転写性を補助するための補助パターンなど)を含むことなく、MEEFやEopの改善効果が得られる。

本実施形態のフォトマスクは、被転写体上に孤立ホールを形成するためのフォトマスクとして好適に用いられる。又は、被転写体上に密集ホールを形成するためのフォトマスクとすることもできる。密集ホールとは、複数のホールパターンが規則的に配列し、互いに光学的な作用を及ぼすものをいう。

【0044】

本発明は、本実施形態のフォトマスクを用いて、露光装置により露光し、被転写体上に、上記転写用パターンを転写する、表示装置の製造方法を含む。

【0045】

本発明の表示装置の製造方法では、まず、本実施形態のフォトマスクを用意する。次に、露光装置を用いて、前記転写用パターンを露光し、被転写体上に、径W2が0.8~3.0(μm)のホールを形成する。露光には、開口数(NA)が0.08~0.20であり、i線、h線、又はg線を含む露光光源をもつ露光装置を用いる。また、露光には、等倍のプロジェクション露光を行う投影露光装置であって、光学系の開口数(NA)が0.08~0.15(コヒーレンスファクタ()が0.4~0.9)であり、i線、h線及びg線の少なくとも一つを露光光に含む露光光源をもつ露光装置を用いることが好ましい。露光光として単一波長を適用する場合には、i線を用いることが好ましい。また、露光光には、i線、h線、g線のすべてを含むブロード波長光を用いてもよい。使用する露光装置の光源は、垂直入射成分を除いた斜光照明(輪帯照明など)を使用しても良いが、斜光照明を適用せず、垂直入射成分を含む通常照明を用いても本発明の優れた効果が十分に得られる。

【0046】

本発明の実施形態に係るフォトマスクは、例えば、透明基板10上に位相シフト膜14と遮光膜15を順に積層した構成のフォトマスクブランクを用意した後、両膜をそれぞれパターニングして製造することができる。位相シフト膜14及び遮光膜15の成膜には、スパッタ法等の公知の成膜法を適用すれば良い。また、フォトマスクの製造に際して、フォトリソグラフィ工程においては、公知のフォトレジストを用い、レーザー描画装置等を使用することができる。図3のフォトマスクを製造する際には、遮光リム部12の幅Rが精緻に制御されることが望まれる。これによって、露光時に被転写体上に形成される空間

10

20

30

40

50

像のプロファイルが影響されるからである。

好ましくは、図3のフォトマスクを製造する際には、レジスト膜を形成した上記フォトマスクブランクに対して描画を行ない、まず遮光膜15をエッチングして遮光リム部12を形成し(遮光リム部が画定される)、次に、再度レジスト膜を形成するとともに、描画を行なって位相シフト膜14をエッチングし、透光部12を形成する事が好ましい。

【0047】

次に、本発明の実施形態に係るフォトマスクを用いて実施した光学シミュレーションについて説明する。

光学シミュレーションでは、上記図3に示すものと同様の転写用パターン(ホールパターン)を有するフォトマスクを用いた。この場合、透光部11の径 $W1$ を $2\mu m$ とし、被転写体上に $W2$ が $1.5\mu m$ のホールを転写(バイアス $=0.5\mu m$)する際に、遮光リム部12の幅 R の寸法によって、 $MEEF$ 及び Eop の光学性能がどのように変化するかを検証した。尚、位相シフト部13の露光光の透過率は、対 i 線で、 5.2% とした。

【0048】

シミュレーションに用いた光学条件は、以下のとおりである。

露光装置の光学系は、開口数 NA が 0.1 であり、コヒーレンスファクタが 0.5 である。また、露光光源には、 i 線、 h 線、 g 線のすべてを含む光源(ブロード波長光源)を用い、強度比は、 $g:h:i=1:1:1$ とした。

【0049】

図8は、遮光リム部の幅の変化による $MEEF$ の値についてのシミュレーション結果を示す図であり、図9は、遮光リム部の幅の変化による Eop の値についてのシミュレーション結果を示す図である。図8及び図9においては、横軸の $Rim Size(\mu m)$ が、遮光リム部12の幅 R を表す。そして、遮光リム部12の幅 R が0の場合は、上記図11と同様の従来型のハーフトーン型位相シフトマスクを用いた場合に相当する。

【0050】

図8によると、遮光リム部12の幅 R の変化によって、 $MEEF$ の値が変動し、特に、幅 R が $0.5\sim 1.5\mu m$ のときに、 $MEEF$ の値は6未満となり、また、幅 R が $0.5\sim 1.0\mu m$ のときに、 $MEEF$ の値が更に低く抑えられることがわかる。このときの $MEEF$ の値は、 5.25 を下回り、同じ径 $W1$ の透光部(ホールパターン)を有する従来型のハーフトーン位相シフトマスクに比較して、半分以下の低い値となっている。

【0051】

また、図9によると、本実施形態のフォトマスクは、従来型のハーフトーン型位相シフトマスクより大幅に Eop が低減され、特に、遮光リム部12の幅 R が $0.5\sim 2.0\mu m$ 、の範囲にわたって、露光に必要な $Dose$ 量が 25% 以上削減されることがわかる。特に、遮光リム部12の幅が $0.75\sim 1.5$ のときに、 35% 以上削減される。

【0052】

図10は、上記シミュレーションに用いた本実施形態のフォトマスク(リム幅 $R=1.0\mu m$ としたもの)を、露光装置によって露光したときに、被転写体上に形成される光学像(すなわち、透過光の光強度分布)を、同じ径のホールパターンをもつバイナリマスク(Binary)、及び、従来型のハーフトーン型位相シフトマスク(Att.PSM)と比較した図である。

【0053】

上記図10によると、本実施形態のフォトマスクが形成する空間像は、他のフォトマスクが形成する空間像にくらべてピークが高く、更に傾斜が急峻であり(垂直に近く)、微細なホールを形成するために有利な、優れたプロファイルであることがわかる。

【符号の説明】

【0054】

10...透明基板

11...透光部

12...遮光リム部

10

20

30

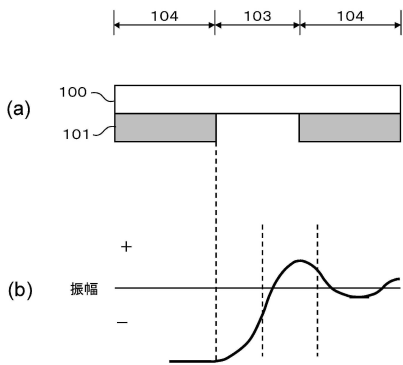
40

50

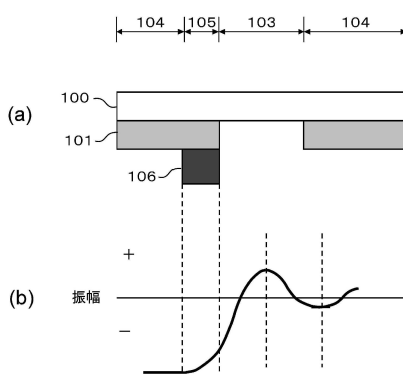
- 1 3 ...位相シフト部
- 1 4 ...位相シフト膜
- 1 5 ...遮光膜

【図面】

【図 1】

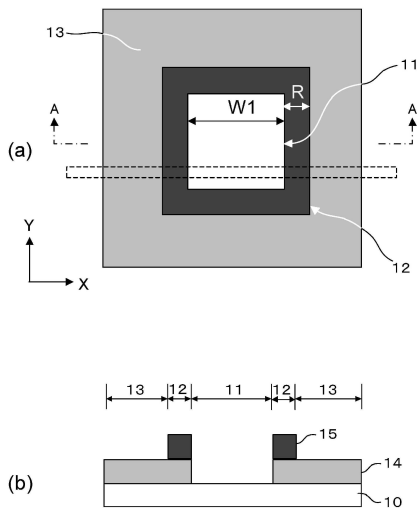


【図 2】

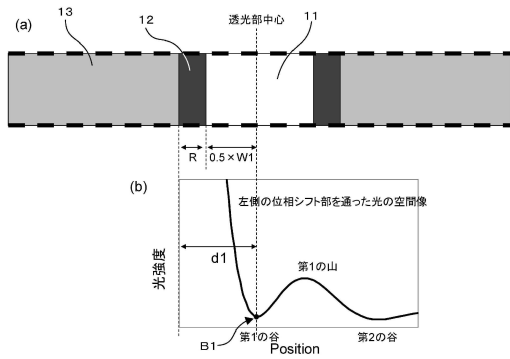


10

【図 3】



【図 4】



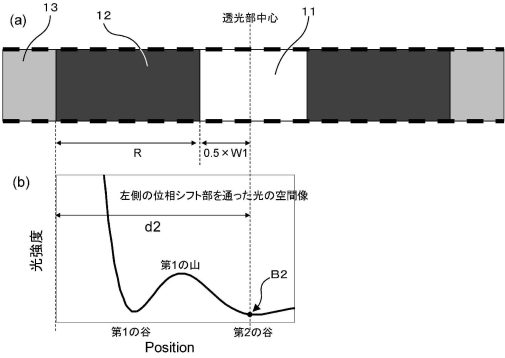
20

30

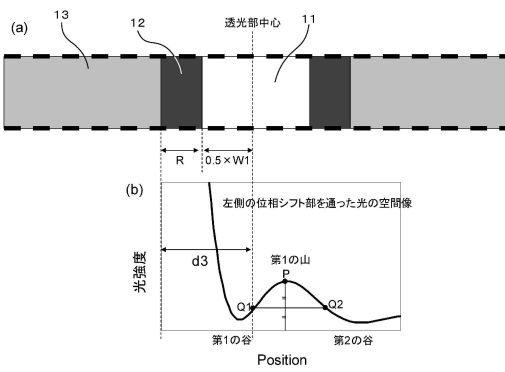
40

50

【図 5】

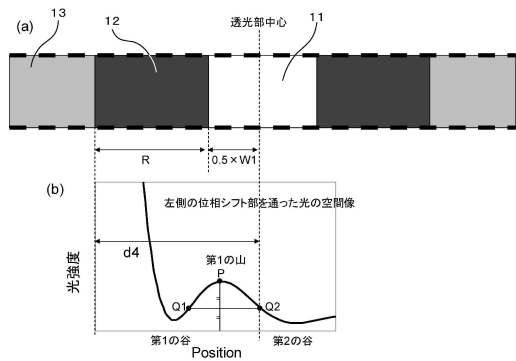


【図 6】

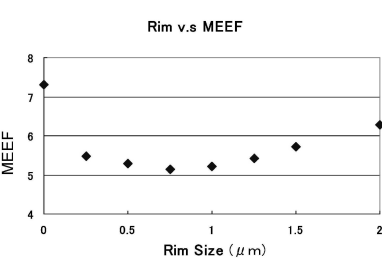


10

【図 7】

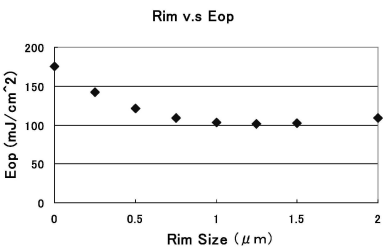


【図 8】

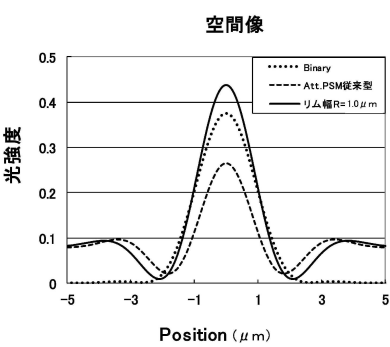


20

【図 9】



【図 10】

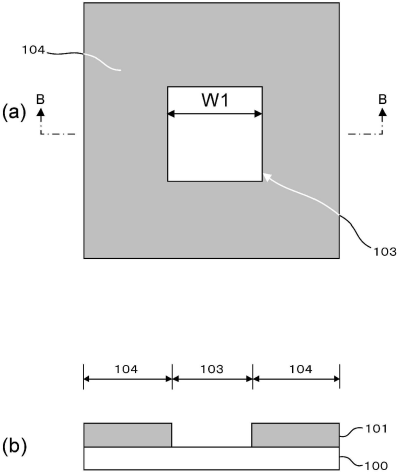


30

40

50

【 図 1 1 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 0 3 - 3 2 2 9 4 9 (J P , A)
 特開 2 0 0 5 - 1 0 7 0 8 2 (J P , A)
 特開 2 0 1 7 - 0 1 0 0 5 9 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- H 0 1 L 2 1 / 0 2 7
 G 0 3 F 7 / 2 0
 G 0 3 F 1 / 0 0 - 1 / 8 6