

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6093117号
(P6093117)

(45) 発行日 平成29年3月8日 (2017.3.8)

(24) 登録日 平成29年2月17日 (2017.2.17)

(51) Int.Cl.

G03F 1/28 (2012.01)

F I

G03F 1/28

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2012-126114 (P2012-126114)
 (22) 出願日 平成24年6月1日 (2012.6.1)
 (65) 公開番号 特開2013-250478 (P2013-250478A)
 (43) 公開日 平成25年12月12日 (2013.12.12)
 審査請求日 平成26年11月25日 (2014.11.25)

前置審査

(73) 特許権者 000113263
 H O Y A 株式会社
 東京都新宿区西新宿六丁目10番1号
 (74) 代理人 110001508
 特許業務法人 津国
 (72) 発明者 今敷 修久
 東京都新宿区中落合2丁目7番5号 H O
 Y A 株式会社内

審査官 今井 彰

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フォトマスク、フォトマスクの製造方法及びパターンの転写方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一辺が300～1800mmの透明基板上に、少なくとも露光光の一部を遮光する遮光部と、前記透明基板が露出した透光部とを含む、ラインアンドスペースパターンからなる転写用パターンが形成されたフラットパネルディスプレイ製造用のフォトマスクであって、

前記遮光部が、前記遮光部の外周に沿って所定幅に形成されたエッジ領域と、前記遮光部において前記エッジ領域以外の部分に形成された中央領域とを有し、

前記中央領域は、前記透光部を透過する前記露光光に含まれる代表波長の光に対して略180度の位相シフト量を有するとともに、前記代表波長に対する透過率が40～80%となる位相シフト膜が形成されてなり、

前記エッジ領域は、前記代表波長の光に対する位相シフト量が、前記中央領域より小さく、かつ、±90度以内となるとともに、前記代表波長の光に対して30～50%の透過率であって、前記中央領域の透過率より低い透過率を有する光学膜が形成されてなり、

前記光学膜は、前記位相シフト膜と、前記代表波長の光に対して80%以下の透過率を有する透過調整膜とが積層されたものであることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 2】

前記位相シフト膜の前記代表波長の光に対する透過率が、40～70%であることを特徴とする、請求項1に記載のフォトマスク。

【請求項 3】

10

20

前記透過調整膜は、前記代表波長の光に対して $90 \sim 270$ 度の位相シフト量をもつ、請求項 1 ～ 2 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 4】

前記遮光部又は前記透光部の幅が、 $3 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする、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】

開口数 NA が $0.06 \sim 0.15$ の範囲の露光装置を用いて露光するためのフォトマスク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】

i 線、h 線、及び g 線を含む光源で露光するためのフォトマスクであることを特徴とする、請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

10

【請求項 7】

請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載のフォトマスクを用い、i 線、h 線、及び g 線を含む光源、及び開口数 NA として $0.06 \sim 0.15$ をもつ露光装置を用いて前記転写用パターンを被転写体上に転写することを特徴とする、パターン転写方法。

【請求項 8】

請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載のフォトマスクを用い、i 線、h 線、及び g 線を含む光源、及び開口数 NA として $0.06 \sim 0.15$ をもつ露光装置を用いて前記転写用パターンを被転写体上に転写する工程を含む、フラットパネルディスプレイの製造方法。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、高精度に微細な転写用パターンを転写可能なフォトマスク、それを用いたパターン転写方法、及びフラットパネルディスプレイの製造方法に関する。また、本発明は、フラットパネルディスプレイの製造に用いるフォトマスクとなすための、フォトマスクブランクに関する。

【背景技術】

【0002】

液晶表示装置に代表されるフラットパネルディスプレイの製造においては、より微細なパターンを形成することで、画質の向上を図るニーズがある。

30

【0003】

特許文献 1 には、液晶表示装置製造に用いられている露光条件において、従来解像できなかった微細なパターンを解像し、より精細な転写像を得るためのフォトマスクが記載されている。

【0004】

特許文献 2 には、遮光膜をパターンングし、i 線に対して 180 度の位相差をもたせる膜厚の位相シフト層を、遮光膜を被覆するように形成した位相シフトマスクが記載されており、これによって微細かつ高精度なパターン形成が可能になるとしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0005】

【特許文献 1】特開 2009 - 42753 号公報

【特許文献 2】特開 2011 - 13283 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

近年、フラットパネルディスプレイの配線パターンの微細化が望まれている。そしてこうした微細化は、フラットパネルディスプレイの明るさの向上、反応速度の向上といった画像品質の高度化のみならず、省エネルギーの観点からも、有利な点があることに関係する。これに伴い、フラットパネルディスプレイの製造に用いられるフォトマスクにも微細

50

な線幅精度の要求が高まることとなる。しかし、フォトマスクの転写用パターンを単純に微細化することによって、フラットパネルディスプレイの配線パターンを微細化しようとすることは容易では無い。

【 0 0 0 7 】

フォトマスクに形成される転写用パターンを微細化していくと、以下の問題があることが本発明者らにより見出された。例えば、透光部と遮光部とを備えた、いわゆるバイナリマスクのパターンを微細化するとともに、遮光部、透光部の寸法（線幅）が小さくなると、透光部を介して被転写体上に形成されたレジスト膜に照射される透過光の光量が低下してしまう。この状態を、図 1 に示す。

【 0 0 0 8 】

10

ここでは図 1 (a) に示す、遮光膜によってなるラインアンドスペースパターンを例とし、ピッチ幅 P を次第に小さく（これに応じて、ライン幅 M_L とスペース幅 M_S が次第に小さく）していく際に、被転写体上に形成したレジスト膜上に生じる、透過光の光強度分布を示す（図 1 (b) ）。ピッチ幅 $8 \mu m$ （ライン幅 $4.8 \mu m$ 、スペース幅 $3.2 \mu m$ ）から、ピッチ幅 $4 \mu m$ （ライン幅 $2.8 \mu m$ 、スペース幅 $1.2 \mu m$ ）まで次第に微細化したときは、光強度分布の波型曲線のピーク位置が、著しく低下していることがわかる。尚、ここでは、ライン幅 M_L とスペース幅 M_S を、それぞれピッチ幅 P に対して、 $P/2 + 0.8 \mu m$ 、 $P/2 - 0.8 \mu m$ に設定した。

【 0 0 0 9 】

このとき、被転写体上のレジスト膜が形成するレジストパターンの断面形状を、図 2 に示す。この場合、ピッチ P が $5 \mu m$ （ライン幅 $3.3 \mu m$ 、スペース幅 $1.7 \mu m$ ）に達した時点で、レジストパターンにラインアンドスペースパターン形状を形成するための光量が不足し、後工程におけるエッチングマスクとするためのレジストパターンが形成できなくなったことが理解できる（図 2 (d) 参照）。

20

【 0 0 1 0 】

そこで、転写時の解像度を上げ、より微細なパターニングを行う方法としては、従来 LSI 製造用の技術として開発されてきた、露光機の開口数拡大、単一波長、かつ短波長を使用した露光が考えられる。しかし、これらの技術を適用する場合には、莫大な投資と技術開発を必要とし、市場に提供される液晶表示装置の価格との整合性が取れなくなる。

【 0 0 1 1 】

30

ところで、図 1 (b) に示されるように、光強度分布の波型曲線のピーク位置が、著しく低下している現象に対して、この光量不足を補うための方法として、露光装置の照射光量を増加させることが考えられる。照射光量が増加すれば、スペース部を透過する光量が増大するため、レジストパターンの形状を良化する、すなわち、ラインアンドスペースパターンの形状に分離させることができると考えられる（図 2 (e) 参照）。但し、このために、露光装置の光源を大光量に変更することは現実的でなく、露光時の走査露光時間を大幅に増加させなければならない。実際には、図 2 (e) に示すようにレジストパターンを分離させるために、1.5 倍の照射光量が必要であることがわかる。

【 0 0 1 2 】

ところで上記特許文献 1 には、透明基板上に形成した半透光膜をパターニングすることによって所定のパターンを形成した、透光部と半透光部とを有するフォトマスクであって、該フォトマスクを透過した露光光によって、被転写体上に線幅 $3 \mu m$ 未満の転写パターンを形成するフォトマスクにおいて、前記透光部又は前記半透光部の少なくとも一方が $3 \mu m$ 未満の線幅の部分の有する、前記透光部と前記半透光部とからなるパターンを含むフォトマスクが記載されている。

40

【 0 0 1 3 】

上記フォトマスクによれば、図 1 (b) において顕著に生じていた透光部のピーク位置の低下が抑止され、ラインアンドスペースパターン形状のレジストパターンが形成できる。これは、透明基板上に形成した半透光膜のパターンが、透光部を含む、転写用パターン全体の透過光量を補助し、レジスト（ここではポジレジスト P/R ）がパターニングされ

50

うる必要光量に到達させることができたことを意味する。

【 0 0 1 4 】

このように、上記特許文献 1 のフォトマスクによると、従来の LCD (Liquid Crystal Display) 用露光機において解像できなかった $3\ \mu\text{m}$ 未満のパターンが形成できるようになったが、更にこのパターニング安定性や精度を高めるニーズが生じた。

【 0 0 1 5 】

特許文献 2 に記載のフォトマスクによれば、位相の反転作用により光強度が最小となる領域を形成して、露光パターンをより鮮明にすることができると記載されている。但し、発明者らの検討によると、LCD 用露光装置によって被転写体上に得られる光強度分布によると、レジスト膜を感光させるための十分な露光光量の確保や、コントラストの向上の点において、改善の余地があり、この点はパターンが微細化するほど重要であることが見出された。

【 0 0 1 6 】

以上のような事情に鑑み、本発明の目的は、微細パターンを確実に精緻に転写可能なフォトマスク、転写方法、及びフラットパネルディスプレイの製造方法を提案しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 7 】

本発明は、下記の構成 1 ~ 8 であることを特徴とするフォトマスク、下記の構成 9 であることを特徴とするパターン転写方法、下記の構成 10 であることを特徴とするフラットパネルディスプレイの製造方法、及び下記の構成 11 であることを特徴とするフォトマスクブランクである。

【 0 0 1 8 】

(構成 1)

本発明は、透明基板上に、少なくとも露光光の一部を遮光する遮光部と、前記透明基板が露出した透光部とを含む転写用パターンが形成されたフォトマスクであって、前記遮光部が、前記遮光部の外周に沿って所定幅に形成されたエッジ領域と、前記遮光部において前記エッジ領域以外の部分に形成された中央領域とを有し、前記中央領域は、前記透光部を透過する前記露光光に含まれる代表波長の光に対して略 180 度の位相シフト量を有するように形成され、前記エッジ領域は、前記代表波長の光に対する位相シフト量が、前記中央領域より小さくなるように形成され、かつ、前記エッジ領域には、前記代表波長の光に対して 50% 以下の透過率を有する光学膜が形成されることを特徴とするフォトマスクである。

【 0 0 1 9 】

本発明のフォトマスクは、上記の構成 1 に、下記の構成 2 ~ 8 を適宜組み合わせることができる。

【 0 0 2 0 】

(構成 2)

本発明のフォトマスクでは、前記中央領域にも光学膜が形成され、前記中央領域の光学膜が、前記代表波長の光に対して略 180 度の位相シフト量を有する位相シフト膜であることを特徴とすることができる。

【 0 0 2 1 】

(構成 3)

本発明のフォトマスクでは、前記エッジ領域の光学膜が、前記代表波長の光に対して略 180 度の位相シフト量を有する位相シフト膜と、前記代表波長の光に対して 80% 以下の透過率を有する透過調整膜とが積層された光学膜であることを特徴とすることができる。

【 0 0 2 2 】

(構成 4)

本発明のフォトマスクでは、前記透過調整膜の前記代表波長の光に対する透過率が、 0

10

20

30

40

50

、１％以上であり、かつ、前記代表波長の光に対して９０～２７０度の位相シフト量をもつことができる。

【００２３】

（構成５）

本発明のフォトマスクでは、前記透過調整膜の前記代表波長の光に対する透過率が０．１％未満であることができる。

【００２４】

（構成６）

本発明のフォトマスクでは、前記位相シフト膜の前記代表波長の光に対する透過率が、２０％以上であることを特徴とすることができる。

10

【００２５】

（構成７）

本発明のフォトマスクでは、前記遮光部又は前記透光部の幅が、３μm以下であることを特徴とすることができる。

【００２６】

（構成８）

本発明のフォトマスクでは、前記転写用パターンが、ラインアンドスペースパターンであることを特徴とすることができる。

【００２７】

（構成９）

本発明は、上記構成１～８のいずれか１つに記載のフォトマスクを用い、露光装置を用いて前記転写用パターンを被転写体上に転写することを特徴とする、パターン転写方法である。

20

【００２８】

（構成１０）

本発明は、本発明は、構成９に記載の転写方法を用いることを特徴とする、フラットパネルディスプレイの製造方法である。

【００２９】

（構成１１）

本発明は、フラットパネルディスプレイの製造に用いるフォトマスクとなすための、フォトマスクブランクであって、透明基板上に、前記フォトマスクを露光する際の露光光に含まれる代表波長の光に対して、２０％以上の透過率及び略１８０度の位相シフト量を有する位相シフト膜と、前記代表波長の光に対して、８０％以下の透過率及び９０～２７０度の位相シフト量を有する透過調整膜とが積層されていることを特徴とする、フォトマスクブランクである。

30

（構成１２）

本発明は、フラットパネルディスプレイの製造に用いるフォトマスクとなすための、フォトマスクブランクであって、透明基板上に、位相シフト膜と、透過調整膜とが積層された積層膜を有し、前記位相シフト膜は、前記フォトマスクを露光する際の露光光に含まれる代表波長の光に対して、２０％以上の透過率及び略１８０度の位相シフト量を有し、前記積層膜は、前記代表波長の光に対して、５０％以下の透過率及び±９０度以内の位相シフト量を有することを特徴とする、フォトマスクブランクである。

40

【発明の効果】

【００３０】

本発明により、微細パターンを確実に精緻に転写可能なフォトマスク、転写方法、及びフラットパネルディスプレイの製造方法を得ることができる。具体的には、微細パターン化による、透過光の光量不足を解消し、或いは更に、露光に必要な照射光量を節減し、かつエッチングマスクとしてすぐれた形状のレジストパターンを形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【００３１】

50

【図 1】(a) はバイナリマスクのラインアンドスペースパターンを示す模式図であり、(b) は、(a) のピッチ P を $8\text{ }\mu\text{m}$ から $4\text{ }\mu\text{m}$ まで次第に小さくした場合に、被転写体上に形成したレジスト膜上に照射される透過光の光強度分布を示すグラフである。

【図 2】(a) ~ (d) は、図 1 (b) の光強度分布のうち、ピッチ幅 $P = 8 \sim 5\text{ }\mu\text{m}$ のラインアンドスペースパターンの透過光によって形成されるレジストパターンの断面形状を示すものである。(e) は、(d) と同じピッチ幅 $P = 5\text{ }\mu\text{m}$ で、露光装置の照射光量を 1.5 倍に増加させたときのレジストパターンの断面形状を示すものである。

【図 3】(a) は、本発明のフォトマスクの構成の一例を示す断面模式図である。(b) は、< 1 > 透光部、< 2 > エッジ領域及び < 3 > 中央領域を透過した透過光の光強度分布成分の説明図である。(c) は、本発明のフォトマスクの光強度分布調整により、光強度分布が改善することを示す説明図である。

10

【図 4】光学シミュレーションに用いた 4 種類の転写用パターンのフォトマスクの断面模式図である。

【図 5】図 4 に示す、4 種類の転写用パターンのフォトマスクによる、透過光の光強度分布曲線の光学シミュレーション結果を示す図である。

【図 6】被転写体上のレジストパターンの側面形状の傾斜角を説明するための断面模式図である。

【図 7】本発明のフォトマスクの製造方法の一例を示す断面模式図及び平面模式図である。

。

【発明を実施するための形態】

20

【0032】

本発明のフォトマスクは以下の特徴をもつ。すなわち、本発明は、透明基板 10 上に、少なくとも露光光の一部を遮光する遮光部 12 と、前記透明基板 10 が露出した透光部 11 とを含む転写用パターンが形成されたフォトマスクであって、前記遮光部 12 が、前記遮光部 12 の外周に沿って所定幅に形成されたエッジ領域 14 と、前記遮光部 12 において前記エッジ領域 14 以外の部分に形成された中央領域 16 とを有し、前記中央領域 16 は、前記透光部 11 を透過する前記露光光に含まれる代表波長の光に対して略 180 度の位相シフト量を有するように形成され、前記エッジ領域 14 は、前記代表波長の光に対する位相シフト量が、前記中央領域 16 より小さくなるように形成され、かつ、前記エッジ領域 14 には、前記代表波長の光に対して 50% 以下の透過率を有する光学膜が形成されることを特徴とするフォトマスクである。

30

【0033】

上記のように、本発明のフォトマスクは、所望のデバイスを製造するための転写用パターンをもち、この転写用パターンは、遮光部 12 及び透光部 11 を有する。この遮光部 12 及び透光部 11 のもつ露光光透過率の相違により、被転写体（液晶パネルなど）上のレジスト膜に、転写用パターンに基づいた光強度分布を形成する。そして、この光強度分布に応じて感光したレジスト膜を現像することにより、被転写体をエッチング加工する際のエッチングマスクとなる、レジストパターンの立体形状が得られる。

【0034】

ここで上記レジストパターンは、被転写体上に所定のレジスト残膜を有する部分と有しない部分（現像後に残留する部分と、溶出してしまう部分）とのいわば 2 段階の階調によって、エッチングマスクとなるものである。換言すれば、本発明のフォトマスクは、少なくとも上記転写用パターン部分においては、2 階調（レジスト残膜が有と無）であるといえる。尚、レジスト膜がポジ型でもネガ型でも制約は無いが、本明細書においてはポジ型レジストを用いて説明する。

40

【0035】

尚、本発明の透光部 11 と遮光部 12 とは、両者を透過する露光光が形成する、光強度の分布によって、2 段階の階調機能を奏するのであって、遮光部 12 を構成する基板や光学膜が露光光を完全に遮光するものに限定されないことは、以下の説明により理解されたとおりである。すなわち、遮光部 12 は、露光光の強度を低下させるための機能を有する

50

部分であり、例えば、所定の位相の複数の光が回折による重ね合わせを生じることによって、レジスト膜に到達する露光光の強度を低下するように構成することができる。従って、遮光部 12 には、所定の位相シフト膜パターン 21 及び所定の透過調整膜パターン 31 等の光学膜のパターンを配置することができることはもちろんのこと、遮光部 12 に、基板の掘り込みなどの位相シフト作用を生じる構造を配置して、露光光の強度を低下させるように構成することもできる。

【0036】

本発明のフォトマスクの構成を、図 3 (a) に例示する。図 3 (a) は、被転写体上に、ラインアンドスペースパターンを転写するためのフォトマスクが有する転写用パターンの断面模式図である。

10

【0037】

ここで、透明基板 10 としては、表面を研磨した石英ガラス基板などが用いられる。大きさは特に制限されず、当該マスクを用いて露光する基板（例えばフラットパネルディスプレイ用基板など）や露光 1 回あたりの面付数に応じて適宜選定される。例えば一辺 300 ~ 1800 mm 程度の矩形基板が用いられる。

【0038】

本発明のフォトマスクは、透明基板 10 上に、少なくとも露光光の一部を遮光する遮光部 12 と、前記透明基板 10 が露出した透光部 11 とを含む転写用パターンを有するものである。図 3 (a) に示す形態では、光学膜として、露光光の代表波長に対して略 180 度の位相シフト量を有する膜（以下、位相シフト膜 20）と、前記代表波長に対して透過率が 80 % 以下であるような膜（以下、透過調整膜 30）を用い、これらに対してそれぞれ適切なパターンニングを行うことで位相シフト膜パターン 21 及び透過調整膜パターン 31 を形成することによって、透光部 11 と遮光部 12 とが形成されている。ここでは、遮光部 12 がライン部、透光部 11 がスペース部に対応する。

20

【0039】

本形態では、露光光を透過する透光部 11 においては、透明基板 10 が露出している。他方、遮光部 12 においては、透明基板 10 上に光学膜のひとつとして位相シフト膜 20 の位相シフト膜パターン 21 が形成されている。そして、この遮光部 12 内において、外周に沿った所定幅のエッジ領域 14 には、更に他の光学膜として、透過調整膜 30 の透過調整膜パターン 31 が形成されている。この結果、図 3 (a) に示すとおり、遮光部 12 は、該遮光部 12 の外周に沿って所定幅に形成されたエッジ領域 14 と、該エッジ領域 14 以外の部分である、中央領域 16（図 3 (a) では遮光部 12 の外周から離れて形成された領域）とを有するものとなっている。エッジ領域 14 には上記のとおり、位相シフト膜パターン 21 と透過調整膜パターン 31 とが積層しており、遮光部 12 のエッジ領域 14 以外（遮光部 12 の中央を含む部分）には、位相シフト膜パターン 21 のみが形成されている。この位相シフト膜パターン 21 と透過調整膜パターン 31 との積層順は、任意に選択することができ、図 3 (a) に示す積層順とは上下逆でもかまわない。

30

【0040】

このような構成により、図 3 (a) に示すフォトマスクの遮光部 12 は、透光部 11 を透過する前記露光光に含まれる前記代表波長に対して略 180 度の位相シフト量を有するように形成された中央領域 16 と、前記代表波長に対する位相シフト量が前記中央領域 16 より小さく、かつ、前記代表波長に対して 50 % 以下の透過率を有する光学膜により形成されたエッジ領域 14 を備えるものとなっている。

40

【0041】

本発明のフォトマスクの透光部 11 及び遮光部 12 の寸法には特に制約は無い。但し、遮光部 12 と透光部 11 との幅の和（ラインアンドスペースパターンにおけるピッチ幅 P）が 5 μm 以下になったときに、本発明の効果が顕著に得られる。また、透光部 11 の幅が 3 μm 以下となったときに、発明の効果がより顕著である。ピッチ幅が小さくなり、これに伴って透光部 11 の寸法が小さくなると、回折の影響が大きくなるとともに、透光部 11 によって透過する光透過強度分布曲線のピークが下がるため、被転写体のレジスト膜に

50

到達してレジストを感光させるには、光量不足となりやすい。このような現象に対して、本発明のフォトマスクは不都合を解消させるからである。透光部 11 の幅が $2\ \mu\text{m}$ 以下の場合に、上記効果が更に大きい。

【0042】

更に、透光部 11 及び遮光部 12 の幅が、 $3\ \mu\text{m}$ 以下である場合に、本発明の効果が高い。更には、透光部 11、又は遮光部 12 のいずれか、又は両方の幅が、 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下のとき、更には、 $2.0\ \mu\text{m}$ 以下の場合に発明の効果が顕著である。

【0043】

更に、このような転写用パターンを用いて、被転写体上にラインアンドスペースパターンを形成する際、被転写体上に、ピッチ幅 P が $5\ \mu\text{m}$ 以下のパターンを形成する場合、又は、幅 $3\ \mu\text{m}$ 以下のラインパターン、及び / 又は幅 $3\ \mu\text{m}$ 以下のスペースパターンを形成する場合に、本発明の効果が顕著に得られる。

【0044】

また、本発明のエッジ領域 14 は、所定幅に形成され、一定幅であることが好ましい。この所定幅とは、ゼロを超える任意の値の幅であって、被転写体上に得ようとするレジストパターンの形状を基に決定することができる。図 3 (a) の形態では、エッジ領域 14 は、遮光部 12 の両エッジに、対向して、互いに等しい幅で形成されている。エッジ領域 14 の幅は、用いる露光装置の解像限界以下の寸法とする。また、具体的なエッジ領域 14 の幅寸法としては、 $0.1 \sim 2\ \mu\text{m}$ 、好ましくは、 $0.1 \sim 1\ \mu\text{m}$ とすることができる。

【0045】

上記のような幅をもつエッジ領域 14 を設定すると、被転写体上に届く透過光の光強度分布曲線が、エッジ領域 14 を独立に解像せず（独立したパターン形状を形成せず）、透光部 11 に対応する光強度のピークと、遮光部 12 に対応する光強度のボトムとを、なだらかに連結する曲線を描くように設計することができる。

【0046】

本形態において、位相シフト膜 20 は、フォトマスクの露光に用いる露光光に含まれる代表波長に対し、透過率を 20% 以上とすることができる。より好ましくは、位相シフト膜 20 の代表波長に対する透過率を $20 \sim 80\%$ 、より好ましくは、 $30 \sim 70\%$ 、更に好ましくは、 $40 \sim 70\%$ とすることができる。

【0047】

ここで、露光光に含まれる代表波長としては、露光光が複数波長を含む場合（例えば、 i 線、 h 線、 g 線を含む光源を使用する場合）には、これらの波長のいずれかとすることができる。例えば、 i 線を代表波長とすることができる。尚、 i 線、 h 線、 g 線のいずれに対しても、本発明の透過率、位相シフト量を充足する形態が、より好ましい。

【0048】

また、ここでいう透過率は、透明基板 10 の、前記代表波長による透過率を 100% とした場合の、位相シフト膜 20 の透過率である。

【0049】

また、位相シフト膜 20 は、上記代表波長に対する位相シフト量が、略 180 度であることが好ましい。ここで、略 180 度とは、位相シフト膜 20 に入射する露光光に対する位相反転作用をもち、入射光と同位相の光との干渉することによって、遮光部 12 に回り込んだ透過光の光強度を低減させるものである。具体的には、位相シフト膜 20 の上記代表波長に対する位相シフト量は、 180 ± 60 度の範囲であることができる。ラジアン表記すると、

$(2n + 2/3) \sim (2n + 4/3) \quad (n: \text{整数})$
である。より好ましくは、 180 ± 30 度 $((2n + 5/6) \sim (2n + 7/6))$
 $(n: \text{整数})$ である。

【0050】

尚、後述するように、位相シフト膜 20 の素材は、透過調整膜 30 との間に、エッチン

10

20

30

40

50

グ選択性を有することが好ましい。

【0051】

本発明のフォトリソマスクに用いられる透過調整膜30は、上記代表波長に対する透過率が、80%以下（即ち、0～80%）であることが好ましい。ここで、透過調整膜30には、実質的に光を透過しない（光学濃度OD>3、つまり透過率0.1%未満）ものも含まれる。このような実質的に光を透過しない膜を、本明細書では遮光膜ともいう。

【0052】

また、透過調整膜30は、一部の光を透過するものであってもよい。その場合（透過率が0.1%以上の場合）には、透過率は80%以下であり、好ましい範囲は、10～80%、より好ましくは40～70%である。

10

【0053】

また、透過調整膜30の透過率が0.1%以上の場合、透過調整膜30は上記代表波長に対する位相シフト量が90～270度であることが好ましい。これは、ラジアン表記すると、

$$(2n + 1/2) \sim (2n + 3/2) \quad (n: \text{整数})$$

である。より好ましくは、120～240度（ $(2n + 2/3) \sim (2n + 4/3)$ ）（n：整数）である。

【0054】

本形態において、エッジ領域14は、上記のとおり、位相シフト膜20と透過調整膜30との積層であり、この積層によって露光光に含まれる代表波長に対する透過率が50%以下となるように形成される。好ましくは、30～50%、より好ましくは35～45%である。

20

上記積層による位相シフト量は、上記代表波長に対して±90度、より好ましくは、±60度以内、更に好ましくは±45度の範囲であることが好ましい。

【0055】

図3(a)に示す、本発明の位相シフト膜20、透過調整膜30はそれぞれ単層で構成されているが、いずれか、又は両方が、複数層の積層により成るものであってもよい。図3(b)に、本発明のフォトリソマスクが有する各膜の機能を図示する。

【0056】

図3(a)に示すような転写用パターン（例えばラインアンドスペースパターン）をもつフォトリソマスクを用い、露光装置により、光照射するとき、被転写体上のレジスト膜40が受ける、透過光の光強度分布成分を、図3(b)の<1>、<2>及び<3>により表した。<1>は、透光部11のパターンを透過する光の強度分布である。透光部11のパターンを透過した光は、回折の影響によって、遮光部12に対応する部分にもある程度の回り込みを生じるため、<1>の曲線に示されるように、ある広がりをもつ波型の分布を描く。但し、パターンが微細になり、パターンのピッチが小さくなる（例えば遮光部12のパターン及び/又は透光部11のパターンの幅が3μm以下になると、図2(d)に示す状態に近づき、ラインアンドスペースパターンのエッチングを行うためのレジストパターンが形成できなくなる。

30

【0057】

そこで、遮光部12に相当する部分の光強度を有効に低下させるため、本形態では位相シフト膜20を用い、中央領域16を形成する。位相シフト膜20による、中央領域16の透過光の強度分布成分を図3(b)の<3>に示す。この位相シフト膜20は所定の位相シフト量を有しているため、位相シフト膜20を透過した光は、透光部11を透過する露光光のうち、回折によって遮光部12に回り込む成分に対して、干渉によりこれを相殺し、この部分の光強度を下げることになる。尚、位相シフト膜20の透過光は、位相シフトをすることにより、透光部11を透過する露光光に対して干渉によりこれを相殺することになるため、図3(b)では、<3>の光の強度を、マイナス側の強度として図示している。

40

【0058】

50

尚、本発明のフォトマスクでは、位相シフト膜 20 を形成する代わりに、同様の作用をもたらすように、透明基板 10 表面に掘り込みを形成しても良い。この場合は、図 3 (a) の遮光部 12 に相当する領域の透明基板 10 を、得ようとする位相シフト量分の厚みだけ、表面から掘り込み除去することができる。

【 0059 】

上述の位相シフト膜 20 等による光強度低減の効果は、やはり回折の影響によって透光部 11 に及ぶことから、透光部 11 の光強度分布のピークを下げてしまう懸念がある。そこで本発明では、エッジ領域 14 において、遮光部 12 から透光部 11 に回り込む反転位相の光を更に反転させ、透光部 11 の透過光と同位相の成分を増加させ、透光部 11 の光強度ピークを高める。このため、本形態では透過調整膜 30 を、遮光部 12 のエッジ付近に配置している。透過調整膜 30 による、エッジ領域 14 での透過光の光強度分布成分を図 3 (b) の < 2 > に示す。

10

【 0060 】

上記のような光強度分布調整を行った結果、図 3 (c) に示すとおり、バイナリマスクの透過光強度分布に対して、透光部 11 の光強度ピークを上げ、遮光部 12 の光強度ボトムをより下げることができる。これにより、光強度分布曲線はコントラストが高くなり、被転写体上に形成されるレジストパターン形状は良好になる。すなわち、その側面形状が改善される（傾斜角が大きくなる）ため、エッチングマスクとして、加工精度の向上に寄与する。

【 0061 】

20

尚、エッジ領域は、上記の態様では位相シフト膜 20 と透過調整膜 30 との積層であるが、これ以外の構成を採る場合でも、エッジ領域としての透過率は上記と同様に、露光光の代表波長に対する透過率が 50 % 以下、好ましくは、30 ~ 50 %、より好ましくは 35 ~ 45 % とすることができる。その場合のエッジ領域の位相シフト量は、 ± 90 度以内とすることが望ましい。

【 0062 】

また、上記では位相シフト膜 20 が透明基板に形成されてなる中央領域について説明したが、それ以外の構成を採る場合においても、透過率を 20 % 以上（より好ましくは、20 ~ 80 %、より好ましくは、30 ~ 70 %、更に好ましくは、40 ~ 70 %）、位相シフト量は、 180 ± 60 度、より好ましくは、 180 ± 30 度とすることができる。

30

【 0063 】

次に、本発明のフォトマスクの製造方法の例について、図 7 を参照して、以下に説明する。

(1) 透明基板 10 上に位相シフト膜 20 と透過調整膜 30 がこの順に形成され、更にフォトレジスト膜 40 が形成されたフォトマスクブランクを用意する。(図 7 (a))

(2) 描画機を用い、エッジ領域 14 形成用パターンを描画する。

(3) 現像し、形成されたレジストパターン 41 をマスクにして、透過調整膜 30 をエッチングする。(図 7 (b))

(4) レジストを剥離し、再度、全面にレジスト膜 40 を形成したのち、遮光部 12 形成用パターンを描画する。(図 7 (c) 及び (d))

40

(5) 現像し、形成されたレジストパターン 51 をマスクにして、位相シフト膜 20 をエッチングする。(図 7 (e))

(6) レジストを剥離する。(図 7 (f))

【 0064 】

尚、位相シフト膜 20 及び透過調整膜 30 のエッチングはドライエッチングでもウェットエッチングでもよい。エッチャントは公知のものを使用できる。

【 0065 】

位相シフト膜 20 の材料としては、例えば、金属シリサイド化合物 ($Ta_x Si_y$ 、 $Mo_x Si_y$ 、 $W_x Si_y$ 又はそれらの窒化物、酸窒化物など)、Si 化合物 (SiO_2 、 $SiOG$)、Zr 合金 ($ZrSi_x O_y$ など)、ITO (酸化インジウム錫)、 ZrO_2 (酸

50

化ジルコニウム)、 Al_2O_3 (酸化アルミニウム)、 WO_3 (酸化タングステン)、 TiO_2 (酸化チタン) 等が挙げられる。

【0066】

透過調整膜30の材料としては、Cr化合物(Crの酸化物、窒化物、炭化物、酸化窒化物、酸化窒化炭化物など)、Si化合物(SiO_2 、 SiOG)、Zr合金(ZrSi_xO_y など)、金属シリサイド化合物(Ta_xSi_y 、 Mo_xSi_y 、 W_xSi_y 又はそれらの窒化物、酸窒化物など)等のほか、上記位相シフト膜20の材料として挙げた、ITO (酸化インジウム錫)、 ZrO_2 (酸化ジルコニウム)、 Al_2O_3 (酸化アルミニウム)、 WO_3 (酸化タングステン)、 TiO_2 (酸化チタン) 等を挙げることができる。但し、位相シフト膜20と透過調整膜30の材料が同一だと、相互にエッチング選択性が無いため、異なる材料とすることが好ましい。

10

【0067】

両膜の組み合わせの例としては、互いにエッチング選択性があれば特に制約は無いが、例えば位相シフト膜20にITOを使用し、透過調整膜30にCr化合物、或いは、位相シフト膜20に ZrO_2 を使用し、透過調整膜30にCr化合物を使用する、などが好適な例として挙げられる。

【0068】

本発明の用途に特に限定は無い。例えば、液晶表示装置(LCD: Liquid Crystal Display)の透明電極パターンなど、フラットパネルディスプレイの領域で、多様な用途に用いられる。このようなラインアンドスペースパターンの形成は、線幅が $3\mu\text{m}$ 以下になると難度が高いため、本発明の効果が顕著である。

20

【0069】

詳細には、転写用パターンがラインアンドスペースパターンであるとき、ピッチ幅P (転写用パターンのライン幅ML、スペース幅MSの合計) が $6\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $5\mu\text{m}$ 以下のときに発明効果が顕著であり、このとき、MLは、 $2.8\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $2.5\mu\text{m}$ 以下、更に好ましくは $2\mu\text{m}$ 以下であるときに、発明の効果がより顕著である。MSについても、 $2.8\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $2.5\mu\text{m}$ 以下、更に好ましくは $2\mu\text{m}$ 以下であるときに、発明の効果がさらに顕著である。

【0070】

また、図3(a)では、ラインアンドスペースパターンを転写用パターンとした場合の例を挙げたが、本発明のフォトマスクにおける転写用パターンの形状にも制約は無い。本発明のフォトマスクをホールパターンに適用してもよい。

30

【0071】

本発明は更に、当該フォトマスクを用いたパターン転写方法を含む。本発明のフォトマスクを用いたパターン転写は、露光装置の照射光量を増加させずに、微細なパターンを転写させることを可能にする。このため、省エネルギー、或いは露光時間の短縮、生産効率の向上に著しいメリットをもたらす。

【0072】

本発明の転写方法においては、標準的なLCD用露光装置を用いることができる。この場合、例えば、開口数NAを $0.06 \sim 0.10$ 、コヒレンスを $0.5 \sim 1.0$ の範囲とすることができる。こうした露光装置は、一般に、 $3\mu\text{m}$ 程度を解像限界としている。露光光源としては、 $365 \sim 436\text{nm}$ (i線~g線) を含む光源を用いることが好ましい。

40

【0073】

もちろん、本発明は、より広い範囲の露光機を用いた転写に際して適用することも可能である。例えば、NAが $0.06 \sim 0.14$ 、又は $0.06 \sim 0.15$ の範囲とすることができる。NAが 0.08 を超える、高解像度の露光機にもニーズが生じており、これらにも適用できる。

【0074】

こうした露光装置は、光源としてi線、h線、g線を含み、これらをすべて含んだ照射

50

光（単一光源に対し、ブロードな光源であるため、以下ブロード光ともいう）を用いることができる。この場合、代表波長とは、i 線、h 線、g 線のいずれとしても良いことは、前述のとおりである。

【0075】

また、本発明は、上記フォトマスクを用いた、フラットパネルディスプレイの製造方法も含む。例えば、本発明のフォトマスクを用いて、TFTの電極パターン形成を行う、或いは、TFTのコンタクトホールパターンの形成を行う、など、その用途には制限は無い。

【0076】

更に、本発明は、パターニングを経て上記フォトマスクとすることができる、フォトマスクブランクを含む。このフォトマスクブランクは、透明基板10上に、前記フォトマスクを露光する際の露光光に含まれる代表波長の光に対して、20%以上の透過率及び略180度の位相シフト量を有する位相シフト膜20と、前記代表波長の光に対して、80%以下の透過率及び90～270度の位相シフト量を有する透過調整膜30とが積層されていることを特徴とする。

【0077】

また、本発明のフォトマスクブランクとしては、以下のものも好適に利用できる。すなわち、透明基板上に、位相シフト膜と、透過調整膜とが積層された積層膜を有し、前記位相シフト膜は、前記フォトマスクを露光する際の露光光に含まれる代表波長の光に対して、20%以上の透過率及び90～270度の位相シフト量を有し、前記積層膜は、前記代表波長の光に対して、50%以下の透過率及び±90度以内の位相シフト量を有することを特徴とする、フォトマスクブランクである。

【0078】

上記各膜の好ましい態様は、上述のとおりである。また、これらの膜は、透明基板10上に、スパッタ法など公知の成膜法によって、形成することができる。

【0079】

以上から明らかなとおり、本発明のフォトマスクは、微細パターン化による、透過光の光量不足を解消し、或いは更に、露光に必要な照射光量を節減し、しかも、エッチングマスクとしてすぐれた形状のレジストパターンを形成することができる。このようなレジストパターンを、従来パターニングが困難であった微細パターンにおいて実現する意義は大きい。特に、液晶表示装置に代表される、フラットパネルディスプレイの製造分野で有利に使用される。本発明のフォトマスクを用いれば、従来のLCD用露光機を用いた場合でも、照射光量を増加することなく、被転写体上のレジスト膜を感光させるための十分な露光光量の確保し、コントラストを向上することができるので、低コストで、転写パターンの微細化を行うことができる。

【実施例】

【0080】

図4に示す、4種類の転写用パターンをもつフォトマスクについて、光強度分布曲線及びそれによる転写体のレジストパターン形状についての光学シミュレーションを行った。シミュレーション条件としては、転写に用いる露光装置の光学条件を考慮して、次のように設定した。

ピッチ幅 4.0 μm (1:1のラインアンドスペースパターン)

開口数NA 0.083

コヒレンス 0.8

各波長の強度比 g:h:i = 1:1:1

位相シフト膜20の位相シフト量 180度(ここではg=h=iとして設定)

【0081】

図5に、図4に示す、4種類の転写用パターンのフォトマスクによる、上述の光学シミュレーションによって得られた透過光の光強度分布曲線を示す。図5は、図4に示す、4種類の転写用パターンをもつフォトマスクを、露光装置により露光した場合に、レジスト

膜 40 が受ける光強度分布を示したものである。図 4 に示す各サンプルにおいて、透過率及び位相シフト量は、代表波長を λ 線としたものである。

【0082】

図 4 に示すそれぞれのサンプル A、B、C 及び D は、ピッチ幅 $P = 4 \mu m$ (ライン幅 $ML =$ スペース幅 $MS = 2 \mu m$) のラインアンドスペースパターンを転写用パターンとしてもつマスクである。

【0083】

サンプル A (比較例、バイナリマスク)

標準サンプルとしてのバイナリマスク (OD 3 以上の遮光膜で転写用パターン (ラインアンドスペースパターン) を形成した。ピッチ幅 $P = 4 \mu m$ (ライン幅 $ML =$ スペース幅 $MS = 2 \mu m$)

【0084】

サンプル B (参考例 1)

透過率 4 %、位相シフト量 45 度である半透光膜をパターンニングすることにより、上記サンプル A と同様の転写用パターンを作成した。

【0085】

サンプル C (実施例)

位相シフト膜 20 をパターンニングすることによってピッチ幅 $P = 4 \mu m$ (ライン幅 $ML =$ スペース幅 $MS = 2 \mu m$) のラインアンドスペースパターンを形成し、更に、そのラインパターン (遮光部 12) の両エッジに沿って、それぞれ $0.5 \mu m$ 幅の透過調整膜 30 を積層した。従って、中央に $1 \mu m$ の幅で、位相シフト膜 20 のみの部分がある。位相シフト膜 20 は、位相シフト量が 180 度、透過率が 70 % とし、透過調整膜 30 は、位相シフト量が 180 度、透過率 57 % のものを用いた。

【0086】

サンプル D (参考例 2)

遮光膜をパターンニングすることによって、ピッチ幅 $4 \mu m$ (ライン幅 $ML = 1 \mu m$ 、スペース幅 $MS = 3 \mu m$) のラインアンドスペースパターンを形成し、更に、同ピッチ幅 (ライン幅 $ML = 2 \mu m$ 、スペース幅 $MS = 2 \mu m$) の位相シフト膜 (透過率 5 %、位相シフト量 180 度) によるパターンを積層して形成した。 $2 \mu m$ 幅のラインパターンの中央部のみが、遮光膜パターンと位相シフト膜パターンの積層構造になっている。

【0087】

図 5 を参照すると、サンプル A に対して、サンプル B は、光強度が全体に高くなっている。従って、上記図 1 で説明した光量不足の問題をある程度解決できることがわかる。但し、サンプル A の曲線と比べて、曲線のピークに至る傾きはほぼ同じであって、コントラストは高くなっていない。この場合、被転写体上に形成されるレジストパターンの側面形状においても、傾斜角を大きくする方向での改善はほとんど無い。

【0088】

サンプル D においては、位相シフト膜の作用によって透過光量が全体に下がってしまい、レジスト膜に対する光量不足は、サンプル A のバイナリマスクよりも深刻となる。また、カーブの傾斜も、サンプル A のバイナリマスクとほぼ同等であり、コントラストの改善はみられない。

【0089】

これに対して、サンプル C (本発明のフォトマスク) においては、サンプル A に対してピークの光強度が高くなっているため、レジスト膜 40 に到達する光の強度不足が解消できる。或いは、これに加えて露光装置による照射光量を低減させることも可能となる。この場合、露光照射光量は走査露光に必要な時間と相関するため、照射光量の低減により、露光時間の短縮、つまり生産効率の向上が可能となる。また、図 5 から明らかとなり、光強度分布曲線の傾きも大きくなり、被転写体上のレジストパターンの側面形状が改善することがわかる。

【0090】

10

20

30

40

50

ここで、傾斜角とは、図 6 に示すように、被転写体上のレジストパターンの側面形状が被転写体面に垂直である場合を 90 度（最大）として、表現する。被転写体上のレジストパターンをエッチングマスクとして被加工体をエッチングする際、傾斜角が大きい（90 度に近い）ほど、露光光量のばらつき等工程の変動に対する線幅変動が小さい。そのため、傾斜角が大きい（90 度に近い）ほど、良好な状態と評価される。

【0091】

尚、本明細書における光強度分布曲線、及びそれによるレジストパターン形状については、光学シミュレーションにより得たものである。シミュレーション条件としては、転写に用いる露光装置の光学条件を考慮して設定したものである。

【0092】

尚、代表波長は、i 線、h 線、g 線のいずれとしても良い。シミュレーションにおいては、単純化のためにこれらの強度比を 1 : 1 : 1 としても良く、又は実際の露光装置の強度比を考慮した比率にしても良い。

【0093】

上記から理解されるとおり、本発明のフォトマスクは、位相シフト膜 20 による露光光位相の反転作用を、透光部 11 から透過して回り込む回折光による光強度低減のために用いている。遮光部 12 に対応する被転写体上の位置であって、本来遮光されるべきところに、透光部 11 からの回折光の回り込みが存在するので、光の干渉による相殺作用が有効に作用する。その一方、遮光部 12 のエッジ付近（エッジ領域 14）においては、位相シフト膜 20 の作用は実質的に発現しない。透過調整膜 30 によって、この部分の位相シフト作用が低減されている（反転していない）からである。

【0094】

公知のいわゆる位相シフトマスクは、パターンエッジにおいて位相を反転させ、透過光のコントラストを上げているが、本発明は、パターンエッジではむしろ位相反転作用を低減させている点で、対照的である。

【0095】

本発明者らによると、このエッジ領域 14 が存在することにより、遮光部 12 に対応する領域で有効に光強度を下げるにも関わらず、透光部 11 に対応する領域の光強度ピークを下げない。むしろ、このエッジ領域 14 が存在することにより、透光部 11 に対応する領域の光強度ピークを高めることができる。この意味で、エッジ領域 14 は、透光部 11 による光の透過を補助する、透過補助パターンとしても機能する。

【0096】

尚、本発明は、上述の位相シフト膜、透過補助膜に加えて、本発明の作用を妨げない限りにおいて、他の膜や基板構造が併用されることを排除しない。

【符号の説明】

【0097】

- 10 透明基板
- 11 透光部
- 12 遮光部
- 14 エッジ領域
- 16 中央領域
- 20 位相シフト膜
- 21 位相シフト膜パターン
- 30 透過調整膜
- 31 透過調整膜パターン
- 40、50 レジスト膜
- 41、51 レジストパターン

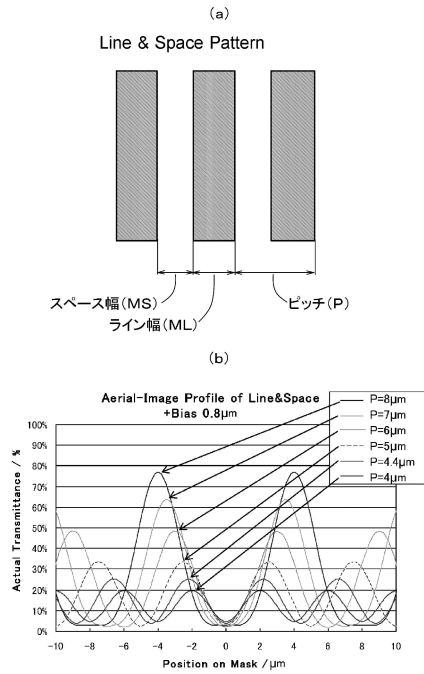
10

20

30

40

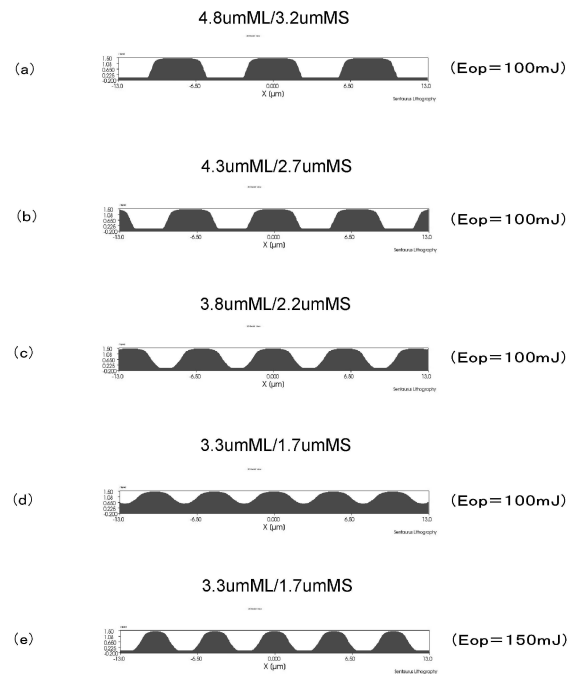
【図 1】



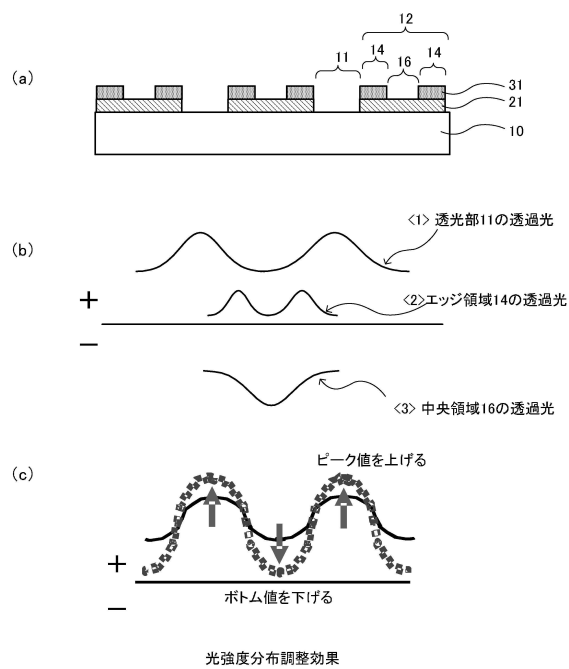
Simulation Condition

NA 0.08
Sigma 0.8
Wavelength g/h*v*=1/1/1
Substrate SiO₂-Glass
P/R-Thick. 1.5 μ m
P/R Positive-Novolak Type (Model)

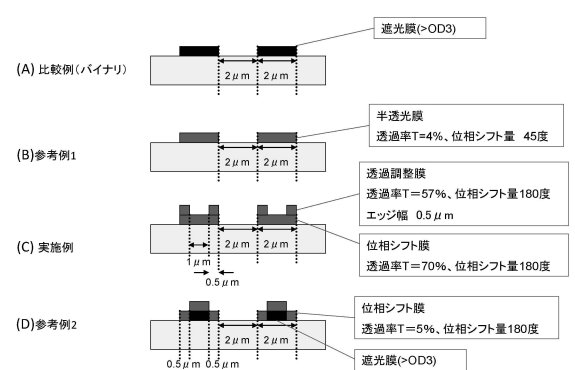
【図 2】



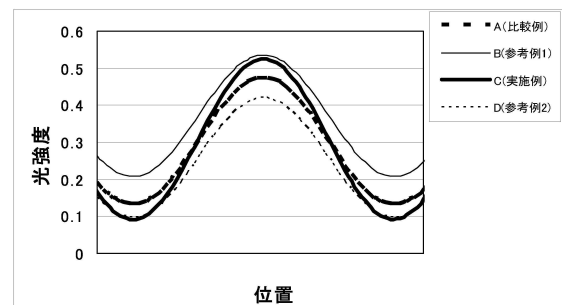
【図 3】



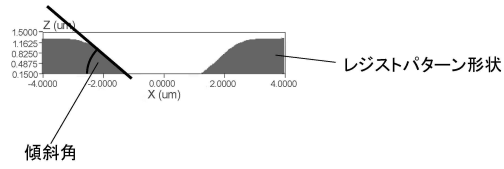
【図 4】



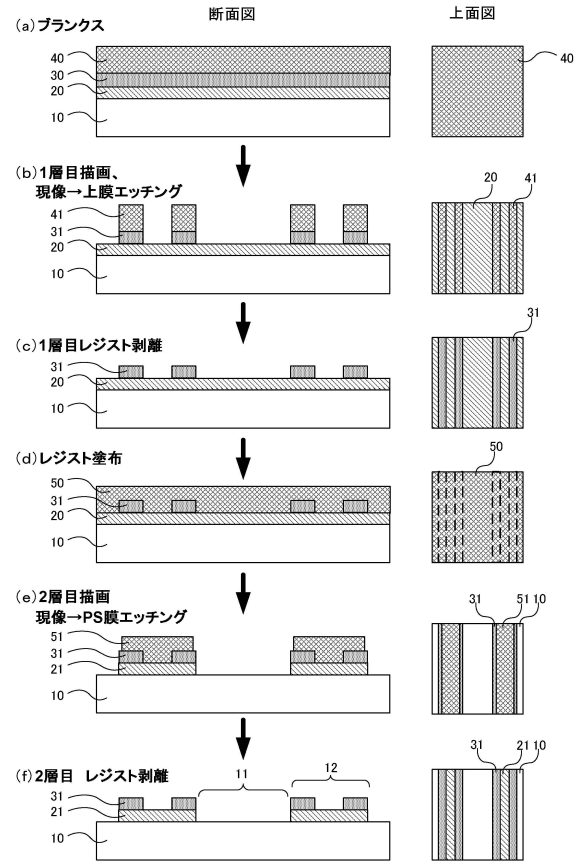
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2007/102337(WO, A1)

特開2004-272211(JP, A)

特開平03-011345(JP, A)

特開平03-177841(JP, A)

特開2004-279484(JP, A)

特開2006-171335(JP, A)

特開2007-293363(JP, A)

特開2004-309958(JP, A)

特開2007-299018(JP, A)

特開2006-091919(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 1/00 - 1/86