

(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2012-68296

(P2012-68296A)

(43) 公開日 平成24年4月5日(2012.4.5)

(51) Int.Cl.

G03F 1/68 (2012.01)
H01L 21/027 (2006.01)

F 1

G03F 1/08
H01L 21/30A
502P

テーマコード(参考)

2H095

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号

特願2010-210672 (P2010-210672)

(22) 出願日

平成22年9月21日 (2010.9.21)

(71) 出願人 000005821

パナソニック株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(74) 代理人 100077931

弁理士 前田 弘

(74) 代理人 100110939

弁理士 竹内 宏

(74) 代理人 100110940

弁理士 嶋田 高久

(74) 代理人 100113262

弁理士 竹内 祐二

(74) 代理人 100115059

弁理士 今江 克実

(74) 代理人 100117581

弁理士 二宮 克也

最終頁に続く

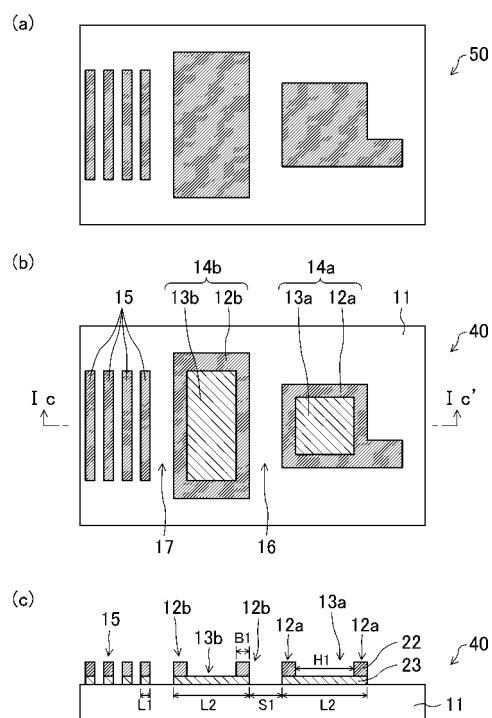
(54) 【発明の名称】 フォトマスク及びそれを用いたパターン形成方法

(57) 【要約】

【課題】 フォトマスク及びそれを用いたパターン形成方法において、サイドロープの発生を避けつつ微細な密集パターン及び孤立スペースパターンの両方のDOFを向上する。

【解決手段】 フォトマスク40は、透明基板11と、透明基板11上に、スペース(16、17)を挟んで対向する部分を有する第1マスクパターン14b及び第2マスクパターン(14a、15)を備える。第1マスクパターン14bは、光を部分的に透過させる半遮光部13bと、遮光部12bとを含む。第1マスクパターン14bにおいて、半遮光部13bは、遮光部12bを挟んでスペース(16、17)と対向する部分を有する配置である。第1マスクパターン14bの寸法は($0.7 \times / \text{NA}$) $\times M$ よりも大きく、スペース(16、17)の寸法は($0.5 \times / \text{NA}$) $\times M$ 以下である(は露光光の波長、NAは露光機の縮小投影光学系の開口数、Mは前記縮小投影光学系の倍率)。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

透明基板と、

前記透明基板上に、スペースを挟んで対向する部分を有するように形成された第1マスクパターン及び第2マスクパターンを備え、

前記第1マスクパターンは、光を部分的に透過させる半遮光部と、遮光部とを含み、

前記第1マスクパターンにおいて、前記半遮光部は、前記遮光部を挟んで前記スペースと対向する部分を有するように配置され、

前記第1マスクパターンと前記第2マスクパターンとの対向方向について、

前記第1マスクパターンの寸法は、 $(0.7 \times / N.A.) \times M$ よりも大きく、

10

前記スペースの寸法は、 $(0.5 \times / N.A.) \times M$ 以下であることを特徴とするフォトマスク（但し、 \times は露光光の波長であり、N.A.は露光機の縮小投影光学系の開口数であり、Mは前記縮小投影光学系の倍率である）。

【請求項 2】

請求項1のフォトマスクにおいて、

前記第2マスクパターンは遮光部からなり、

前記第1マスクパターンと前記第2マスクパターンとの対向方向について、

前記第2マスクパターンの寸法は、 $(0.7 \times / N.A.) \times M$ 以下であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 3】

請求項1のフォトマスクにおいて、

前記半遮光部及び前記遮光部は、前記第2マスクパターンにも他の半遮光部及び他の遮光部として含まれてあり、

前記第2マスクパターンにおいて、前記他の半遮光部は、前記他の遮光部を挟んで前記スペースと対向するように配置されていることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 4】

請求項3のフォトマスクにおいて、

前記第1マスクパターンと前記第2マスクパターンとの対向方向について、

前記第2マスクパターンの寸法は、 $(0.7 \times / N.A.) \times M$ よりも大きいことを特徴とするフォトマスク。

30

【請求項 5】

請求項1～4のいずれか1つのフォトマスクにおいて、

前記第1マスクパターンと前記第2マスクパターンとの対向方向について、前記遮光部の寸法及び前記半遮光部の寸法は、 \times 、N.A.及びMに基づいて設定されていることを特徴とするフォトマスク（但し、 \times は露光光の波長であり、N.A.は露光機の縮小投影光学系の開口数であり、Mは前記縮小投影光学系の倍率である）。

【請求項 6】

請求項5のフォトマスクにおいて、

前記遮光部の寸法は、 $(0.13 \times / N.A.) \times M$ 以上であることを特徴とするフォトマスク。

40

【請求項 7】

請求項5又は6のフォトマスクにおいて、

前記遮光部の寸法は、 $(1.13 \times / N.A.) \times M$ 以下であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 8】

請求項5～7のいずれか1つのフォトマスクにおいて、

前記半遮光部の寸法は、 $(0.42 \times / N.A.) \times M$ 以上であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 9】

請求項1～8のいずれか1つのフォトマスクにおいて、

50

前記半遮光部は、前記スペースと同位相で光を透過させることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 1 0】

請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 つのフォトマスクにおいて、

前記遮光部は、前記半遮光部を囲むように配置されていることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 1 1】

請求項 1 0 のフォトマスクにおいて、

前記遮光部の幅は、前記半遮光部の凹コーナー部よりも前記半遮光部の凸コーナー部において広いことを特徴とするフォトマスク。

【請求項 1 2】

請求項 1 ~ 1 1 のいずれか 1 つのフォトマスクにおいて、

前記半遮光部は、前記遮光部によって複数の部分に分割されていることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 1 3】

請求項 1 ~ 1 2 のいずれか 1 つのフォトマスクにおいて、

前記遮光部は、前記第 1 マスクパターンと前記第 2 マスクパターンとの対向方向について前記半遮光部に挟まれた部分を有することを特徴とするフォトマスク。

【請求項 1 4】

請求項 1 ~ 1 3 のいずれか 1 つのフォトマスクにおいて、

前記半遮光部の光透過率は、前記半遮光部を透過した光が、感光領域を発生させる光強度よりも弱い光強度となるように設定されていることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 1 5】

請求項 1 ~ 1 4 のいずれか 1 つのフォトマスクにおいて、

前記半遮光部は、前記遮光部を挟んで前記スペースと対向する部分のみに配置されていることを特徴とするフォトマスク。

【請求項 1 6】

反射基板と、

前記反射基板上に、スペースを挟んで対向する部分を有するように形成された第 1 マスクパターン及び第 2 マスクパターンとを備え、

前記第 1 マスクパターンは、光を部分的に反射させる半反射部と、光を実質的に反射しない非反射部とを含み、

前記第 1 マスクパターンにおいて、前記半反射部は、前記非反射部を挟んで前記スペースと対向するように配置され、

前記第 1 マスクパターンと前記第 2 マスクパターンとの対向方向について、

前記第 1 マスクパターンの寸法は、(0.7 × / N A) × M よりも大きく、

前記スペースの寸法は、(0.5 × / N A) × M 以下であることを特徴とするフォトマスク（但し、 は露光光の波長であり、 N A は露光機の縮小投影光学系の開口数であり、 M は前記縮小投影光学系の倍率である）。

【請求項 1 7】

請求項 1 ~ 1 6 のいずれか 1 つのフォトマスクを用いるパターン形成方法において、

基板上にレジスト膜を形成する工程 (a) と、

前記レジスト膜に、前記フォトマスクを介して露光光を照射する工程 (b) と、

前記露光光が照射された前記レジスト膜を現像し、前記レジスト膜をパターン化する工程 (c) とを備えることを特徴とするパターン形成方法。

【請求項 1 8】

請求項 1 7 のパターン形成方法において、

前記工程 (b) において、斜入射照明を用いることを特徴とするパターン形成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【0001】

本開示は、半導体集積回路装置の製造に用いられる微細パターン形成用のフォトマスクと、そのフォトマスクを用いたパターン形成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体を用いて実現する大規模集積回路装置（以下LSIと称する）の高集積化を実現するために、回路パターンの微細化がますます必要となっている。その中でも素子分離に関して、LSIには、SRAM（Static Random Access Memory）等に代表される微細な密集パターンと、スタンダードセル等で多く見られる微細な孤立スペースパターンとが同時に存在する。LSIの高集積化のためには、これら2種類のパターンを同時に微細化することが重要になっている。

10

【0003】

微細な密集パターンの形成には、超解像露光と呼ばれる斜入射露光を用いることが行われている。この方法は、より微細な密集パターンを形成するために有利であると共に、周期的に配置された密集パターンのDOF（Depth Of Focus、焦点深度）を向上させる効果も有する。しかしながら、斜入射露光方法は、孤立スペースパターンに対しては解像度向上の効果が無く、逆に、DOFを大きく劣化させてしまう。

【0004】

この一方、微細な孤立スペースパターンを形成するために干渉度の小さい光源を用いると、微細な密集パターンの形成が困難になる。

20

【0005】

以上のように、微細な孤立スペースパターンと微細な密集パターンとに対する最適照明条件は、相反関係にある。従って、微細な密集パターンの形成と微細な孤立スペースパターンの形成とを同時に行なうために、光源からの垂直入射成分及び斜入射成分のいずれも存在するように、干渉度が0.5～0.6程度の光源を用いている。

【0006】

しかしこの場合、垂直入射成分と斜入射成分の両方が相殺されるので、密集パターンと孤立スペースパターンとを同時に微細化して更なる半導体装置の微細化を実現することは困難である。

30

【0007】

これに対しては、例えば特許文献1に記載されているように、補助パターンを用いることが有効である。

【0008】

微細な密集パターンを形成するために斜入射照明を用いた場合、孤立スペースパターンの部分ではDOFの大幅な低下が起る。これに対し、図15に示すように補助パターン31をメインパターン30の近傍に配置すると、孤立スペースパターンの部分におけるDOFを拡大することができる。

【0009】

図16には、図15に例示したパターンに対して斜入射照明を用いた場合について、図15のXVI-XVI'線における光強度を表すグラフである。光透過部からなるメインパターン30（孤立スペースパターンに対応する）の近くに、解像不能な寸法の光透過部からなる補助パターン31を配置して露光を行なう。これにより、図16に示すように、光強度が明、暗、明、暗、明と周期性を持つようになり、結果として孤立スペースパターンの部分におけるDOFが向上する。

40

【0010】

このとき、補助パターン31について、ウェハ上に転写されるのを避けるために、メインパターン30よりも小さい、解像限界以下の寸法に設定する必要がある。また、一般的に補助パターンはメインパターンに対してルールベース配置される。補助パターンの配置後に、メインパターンに対してモデルベースOPC（Optical Proximity Correction）を行なうのが通常である。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】特開平7-140639

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

前述のように、補助パターンは解像限界以下の寸法であることが必要である。しかしながら、回路パターンの微細化に伴い、大きなD.O.F拡大の効果を得るために必要な補助パターンの大きさは、解像限界に近い寸法になっている。更に、補助パターンは、スタンダードセルのようなランダムなパターンに対してルールベースにより配置される。

10

【0013】

これらのことから、周辺のメインパターンの環境次第では、補助パターンに対応する光強度が、転写の生じる光強度の閾値を越えてしまうことがある。この場合、サイドロープと呼ばれる不要なパターンがウェハ上に形成される。

【0014】

また、補助パターンは、メインパターンよりも小さい寸法であることが必要である。しかしながら、メインパターン自体が微細化されてマスク作成限界に近付くに従い、メインパターンよりも小さく設計される補助パターンを有するマスクの製造は困難になる。

20

【0015】

また、フォトマスクにおける補助パターンの寸法変動は、転写されるメインパターンの寸法に大きく影響するので、補助パターンのマスクは高い寸法精度に作成する必要がある。しかし、補助パターンはマスク作成限界の近くまで小さくなっているので、高い寸法精度にマスクを作成することは難しく、不可能にもなり得る。更に、マスクの検査等も困難になり、マスクの作成時間の長期化、マスクの製造コストの上昇を起こす可能性がある。

【0016】

以上に鑑み、本開示の技術は（特に、微細な密集パターンを形成するために斜入射照明を用いる場合の孤立スペースパターンについて）D.O.Fを向上することができ且つ転写後のパターンにサイドロープを発生させることのないフォトマスク及びそれを用いたパターン形成方法を実現することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0017】

本願発明者等は、前記のような光透過部からなる補助パターンを用いることなくD.O.Fを向上させると共にサイドロープの発生を抑える方法を種々検討した。その結果、フォトマスクを用いた露光に際し、光強度分布に明、暗、明、暗のような周期性を持たせるために、露光光を部分的に透過させる半遮光部を利用することに想到した。

【0018】

具体的に、本開示の第1のフォトマスクは、透明基板と、透明基板上に、スペースを挟んで対向する部分を有するように形成された第1マスクパターン及び第2マスクパターンを備え、第1マスクパターンは、光を部分的に透過させる半遮光部と、遮光部とを含み、第1マスクパターンにおいて、半遮光部は、遮光部を挟んでスペースと対向する部分を有するように配置され、第1マスクパターンと第2マスクパターンとの対向方向について、第1マスクパターンの寸法は、 $(0.7 \times / N.A.) \times M$ よりも大きく、スペースの寸法は、 $(0.5 \times / N.A.) \times M$ 以下である（但し、 \times は露光光の波長であり、N.A.は露光機の縮小投影光学系の開口数であり、Mは縮小投影光学系の倍率である）。

40

【0019】

このようなフォトマスクによると、第1マスクパターンと第2マスクパターンとの対向方向について、第1マスクパターンの半遮光部、第1マスクパターンの遮光部、スペース、第2マスクパターン、と並んでいる。従って、露光時にこれらの部分に対応する光強度分布において、明、暗、明、暗、のような周期性を持たせることができ、D.O.Fを向上さ

50

せることができる。特に、微細な密集パターンを形成するために斜入射照明を用いると、半遮光部を備えないバイナリマスクの場合とは異なり、スペースの D O F についても大きくなるので、いずれのパターンについてもより適正に形成することができる。

【0020】

ここで、半遮光部の光透過率は、フォトマスクを用いて露光を行なう際に、半遮光部を透過した光がレジスト等を感光しない（感光領域を発生させない）光強度となるように設定することができる。これにより、D O F 向上のために設けた半遮光部が、不要なパターン（サイドロープ）を発生させるのを避けることができる。これと共に、第1マスクパターンにおける半遮光部及び遮光部の寸法について、マスクの加工限界よりも大きい寸法にすることができる。つまり、フォトマスクの作成がより容易になる。

10

【0021】

尚、第2マスクパターンは遮光部からなり、第1マスクパターンと第2マスクパターンとの対向方向について、第2マスクパターンの寸法は、 $(0.7 \times / N A) \times M$ 以下であっても良い。

【0022】

スペースを介して第1マスクパターンと対向する部分の第2マスクパターンの寸法が小さい場合には、第2マスクパターンを遮光部からなるものにすると共に、以上の寸法に設定する。これにより、いずれのパターンについても D O F を向上させることができる。

20

【0023】

また、半遮光部及び遮光部は、第2マスクパターンにも他の半遮光部及び他の遮光部として含まれており、第2マスクパターンにおいて、他の半遮光部は、他の遮光部を挟んでスペースと対向するように配置されていても良い。

【0024】

このようにすると、第1マスクパターンの半遮光部、第1マスクパターンの遮光部、スペース、第2マスクパターンの遮光部、第2マスクパターンの半遮光部、と並ぶので、露光時の光強度分布において、明、暗、明、暗、明、との周期性が実現する。これにより、D O F が向上する。

【0025】

また、第1マスクパターンと第2マスクパターンとの対向方向について、第2マスクパターンの寸法は、 $(0.7 \times / N A) \times M$ よりも大きくても良い。

30

【0026】

スペースを介して第1マスクパターンと対向する部分の第2マスクパターンの寸法が大きい場合には、第2マスクパターンを遮光部及び半遮光部が含まれるものにすると共に、以上の寸法に設定する。これにより、いずれのパターンについても D O F を向上させることができる。

【0027】

また、第1マスクパターンと第2マスクパターンとの対向方向について、遮光部の寸法及び半遮光部の寸法は、 $\lambda / N A$ 及び M に基づいて設定されていても良い（但し、 λ は露光光の波長であり、 $N A$ は露光機の縮小投影光学系の開口数であり、 M は縮小投影光学系の倍率である）。

40

【0028】

遮光部及び半遮光部の寸法を決める要素の例としては、以上のものが挙げられる。

【0029】

また、遮光部の寸法は、 $(0.13 \times / N A) \times M$ 以上であっても良い。

【0030】

このような値とすると、フォトマスクを用いて露光する際に、十分な露光量余裕度を得ることができる。

【0031】

また、遮光部の寸法は、 $(1.13 \times / N A) \times M$ 以下であっても良い。

【0032】

50

このような値とすると、D O F を顕著に向上することができる。

【0033】

また、半遮光部の寸法は、 $(0.42 \times / N A) \times M$ 以上であっても良い。

【0034】

このような値とすると、D O F を顕著に向上することができる。

【0035】

また、半遮光部は、スペースと同位相で光を透過させても良い。

【0036】

このようにすると、より適正にパターンを露光することができる。

【0037】

また、遮光部は、半遮光部を囲むように配置されていても良い。

【0038】

このようにすると、マスクパターンに関していずれの方向についても、露光時の光強度分布について明、暗、明、の周期性を実現することができる。

【0039】

また、遮光部の幅は、半遮光部の凹コーナー部よりも半遮光部の凸コーナー部において広くても良い。

【0040】

このようにすると、光近接効果補正により、特にコーナー部の形状に関して、所望の露光パターンをより確実に得ることができる。

【0041】

また、半遮光部は、遮光部によって複数の部分に分割されていても良い。

【0042】

また、遮光部は、前記対向方向について半遮光部に挟まれた部分を有していても良い。

【0043】

このようにすると、遮光部と半遮光部とによって、露光時の光強度分布について明、暗、明の周期性を更に高めることができる。

【0044】

また、半遮光部の光透過率は、半遮光部を透過した光が、感光領域を発生させる光強度よりも弱い光強度となるように設定されていても良い。

【0045】

このようにすると、露光時に、半遮光部を透過した光によって不要なパターンが生じるのを避けることができる。

【0046】

また、半遮光部は、遮光部を挟んでスペースと対向する部分のみに配置されていても良い。

【0047】

このようにすると、必要な箇所のD O F を拡大することができるとことに加えて、フォトマスクの加工が容易になると共に描画時間の短縮が可能になり、マスクコストの削減が実現する。

【0048】

次に、本開示の第2のフォトマスクは、反射基板と、反射基板上に、スペースを挟んで対向する部分を有するように形成された第1マスクパターン及び第2マスクパターンとを備え、第1マスクパターンは、光を部分的に反射させる半反射部と、光を実質的に反射しない非反射部とを含み、第1マスクパターンにおいて、半反射部は、非反射部を挟んでスペースと対向するように配置され、第1マスクパターンと第2マスクパターンとの対向方向について、第1マスクパターンの寸法は、 $(0.7 \times / N A) \times M$ よりも大きく、スペースの寸法は、 $(0.5 \times / N A) \times M$ 以下である（但し、 \times は露光光の波長であり、N Aは露光機の縮小投影光学系の開口数であり、Mは縮小投影光学系の倍率である）。

【0049】

10

20

30

40

50

これは、本開示の第1のフォトマスクが透過型のフォトマスクであるのに対し、同様の効果を有するように反射型のフォトマスクとして実現したものである。第1のフォトマスクに関する以上の説明において、透明基板を反射基板、半遮光部を半反射部、遮光部を非反射部、透過を反射、光透過率を光反射率、等のように読み替えることにより、第2のフォトマスクに関する説明となる。

【0050】

次に、本開示のパターン形成方法は、本開示のいずれか1つのフォトマスクを用い、基板上にレジスト膜を形成する工程(a)と、レジスト膜に、フォトマスクを介して露光光を照射する工程(b)と、露光光が照射されたレジスト膜を現像し、レジスト膜をパターン化する工程(c)とを備える。

10

【0051】

このようなパターン形成方法によると露光時に、不要なパターンの発生を抑制しながら、DOFを向上することができる。この結果、特に、微細な密集パターンを形成するために斜入射照明を用いる場合に、孤立スペースパターンについてDOFが大きくなるので、いずれのパターンについてもより適正に形成することができる。

【0052】

尚、工程(b)において、斜入射照明を用いても良い。

【0053】

このようにすると、更に適正にパターンを形成することができる。

20

【発明の効果】

【0054】

以上の通り、本開示のフォトマスク及びこれを用いたパターン形成方法によると、パターンを精度良く且つサイドロープの発生無く形成することができ、且つ、フォトマスクの作成についても容易になる。特に、斜入射照明を用いて微細な密集パターンと孤立スペースパターンと共に形成する際に顕著な効果を發揮し、微細な半導体装置を製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【0055】

【図1】図1(a)、(b)及び(c)は、本開示の一実施形態において形成しようとしている例示的パターン、その形成に用いる例示的フォトマスクの平面構成及びIc-Ic'線による断面構成を模式的に示す図である。

30

【図2】図2は、図1(b)及び(c)に示すフォトマスクを用いた露光の際の光用度分布について模式的に示す図である。

【図3】図3は、本開示及び比較例のフォトマスクについて、フォーカス変動に対するCD変化を表す図である。

【図4】図4は、本開示の例示的フォトマスクについて、遮光部の幅と、孤立スペースにおけるDOFとの関係を示す図である。

【図5】図5は、本開示の例示的フォトマスクについて、孤立スペースパターンに関して、遮光部の幅と、NILSとの関係を示す図である。

【図6】図6は、本開示の例示的フォトマスクについて、半遮光部の幅に対するDOFの関係をシミュレーションによって求めた結果を示す図である。

40

【図7】図7(a)～(d)は、本開示の例示的フォトマスクを用いたパターン形成方法について模式的に示す図である。

【図8】図8(a)、(b)、(c)及び(d)は、本開示の一実施形態の変形例において形成しようとしている例示的パターン、その形成に用いる例示的フォトマスクの平面構成、Vc-Vc'線による断面構成及びVIIId-VIIId'線による断面構成を模式的に示す図である。

【図9】図9(a)及び(b)は、図1(a)の例示的パターンの形成に用いる他の例示的フォトマスクについて、平面構成及びIXb-IXb'線による断面構成を模式的に示す図である。

50

【図10】図10は、図9(a)及び(b)に示すフォトマスクを用いた露光の際の光用度分布について模式的に示す図である。

【図11】図11は、図1(a)の例示的パターンの形成に用いる更に他の例示的フォトマスクの平面構成を模式的に示す図である。

【図12】図12は、図1(a)の例示的パターンの形成に用いる更に他の例示的フォトマスクの平面構成を模式的に示す図である。

【図13】図13は、本開示の例示的フォトマスクについて、図1(c)の断面構成とは異なる例を示す図である。

【図14】図14は、本開示の例示的フォトマスクについて、図1(c)の断面構成とは異なる更に他の例を示す図である。

【図15】図15は、背景技術のフォトマスクの平面構成を示す図である。

【図16】図16は、図15のフォトマスクを用いた露光の際の光用度分布について模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0056】

(前提事項)

まず、本開示の実施形態を説明するに当たっての前提事項について説明する。

【0057】

通常、フォトマスクは縮小投影型の露光機において使用されるので、マスク上のパターン寸法を議論する場合には、縮小倍率を考慮しなければならない。しかし、以下の実施形態では、混乱を避けるために、形成しようとする所望のパターン（例えばレジストパターン）と対応させてマスク上のパターン寸法を説明する場合、特に断らない限りは縮小倍率によって該寸法を換算した値を用いている。具体例を示すと、M分の1縮小投影システムにおいて、幅 $M \times 63\text{nm}$ のマスクパターンによって幅 63nm のレジストパターンを形成した場合について、マスクパターン幅及びレジストパターン幅は共に 63nm であると表現する。

【0058】

また、本開示の実施形態において、特に断らない限り、M及びNAは露光機の縮小投影光学系の縮小倍率及び開口数をそれぞれ表し、 λ は露光光の波長を表すものとする。フォトマスク上に形成されるマスクパターンは、レジスト膜等に対して転写する際のパターン寸法制御性の観点から、用いる露光装置の光学条件（M、NA、 λ ）を予め決めた上で作成される。従って、予め決められた光学条件と異なる光学条件の露光装置で用いることは一般的には行なわない。

【0059】

また、パターン形成について、レジストの非感光領域がレジストパターンとなるポジ型レジストプロセスを想定して説明する。尚、ポジ型レジストプロセスに代えてネガ型レジストプロセスを用いる場合、ネガ型レジストプロセスにおいては、レジストの非感光領域が除去されるので、ポジ型レジストプロセスにおけるレジストパターンをスペースパターンと読み替えればよい。

【0060】

また、フォトマスクとしては透過型マスクを前提として説明する。尚、透過型マスクに代えて反射型マスクを前提とする場合、反射型マスクにおいては、透過型マスクの透過領域及び遮光領域がそれぞれ反射領域及び非反射領域となるので、透過型マスクの透過現象を反射現象と読み替えればよい。具体的には、透過型マスクの開口部又は透過性領域を反射部又は反射領域と読み替え、遮光部を非反射部と読み替えればよい。さらに、透過型マスクにおける光を部分的に透過する領域（半遮光部）は光を部分的に反射する領域（半反射部）と読み替えればよく、透過率は反射率と読み替えればよい。

【0061】

更に、実施形態において、各種の条件の一例として、以下のような場合を考える。

【0062】

10

20

30

40

50

半遮光部は、露光光に対して例えば9%の透過率を有すると共に、その透過光は、透過部における透過光と同位相となるものと設定する。また、遮光部の露光光に対する透過率は0%である、つまり、遮光部は露光光を完全に遮光するものと設定する。

【0063】

また、露光は、ArF光源の波長193nm光を用い、NAは1.35とする。更に、斜入射照明として_{out}=0.85、_{in}=0.57のAnnular照明を用いる。

【0064】

また、密集パターンは、例えばピッチ120nm以下のLine/Spaceが3個以上集合したパターンとし、孤立スペースは、スペース幅に対して、少なくとも片側のライン幅が各々スペース幅の3倍以上あるパターンを考えるものとした。

10

【0065】

但し、以上は例示であって、これらに限定されるものではない。

【0066】

(実施形態)

以下、本開示の一実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【0067】

図1(a)は、本実施形態において形成しようとしている例示的パターン50を示す平面図であり、図1(b)は、パターン50の形成に用いる例示的フォトマスク40を示す平面図であり、図1(c)は、図1(b)におけるIc-Ic'線における断面図である。

20

【0068】

図1(b)及び(c)に示すように、フォトマスク40において、露光光を透過させる透明基板11に、それぞれが0.7×/NAよりも小さい例えば60nmのライン幅L1を有する密集マスクパターン15と、0.7×/NAよりも大きい例えば200nmのライン幅L2を有するマスクパターン14a及び14bが配置されている。

【0069】

密集マスクパターン15及びマスクパターン14a及び14bは、図1(c)に示すように、半遮光膜23上に遮光膜22が積層された構造を有する。密集マスクパターン15については、半遮光膜23の全体に遮光膜22が積層されているので、全体が遮光部となっている。これに対し、マスクパターン14a及び14bについては、半遮光膜23の一部分(主に外周部分)に遮光膜22が積層されているので、中央側の半遮光部13a及び13bと、その周囲の遮光部12a及び12bとが設けられた構造となっている。このように、遮光部・半遮光部とは、図1(b)のような平面構成に関して言うものとする。

30

【0070】

ここで、半遮光部13a及び13bは、開口部(いずれのマスクパターンも配置されていない、透明基板11の部分)を基準として、同位相に光を透過させる。

【0071】

また、マスクパターン14aとマスクパターン14bとの間には孤立スペース16、マスクパターン14bと密集マスクパターン15との間には孤立スペース17が配置されている。図1(b)のIc-Ic'線の方向(マスクパターン同士が孤立スペースを挟んで対向する方向)において、孤立スペース16は幅S1、遮光部12a及び12bは幅B1、半遮光部13a及び13bは幅H1を有する。

40

【0072】

次に、図2は、フォトマスク40を用いて露光する際の透過光のイメージを示す図である。孤立スペース16及び17を透過した光と、半遮光部13a及び13bを透過した光とは同位相である。また、図にも示すように、半遮光部13a、遮光部12a、孤立スペース16(開口部)、遮光部12b、半遮光部13b、のように順に配置されていることにより、孤立スペース16周辺の光学環境は、明、暗、明、暗、明、となり、周期性の高い分布となっている。この結果、DOFが向上する。

【0073】

図3に、遮光部及び反射後部を含む本実施形態のマスクと、遮光部のみからなるパター

50

ンを有する通常のバイナリマスクとについて露光を行なった際のフォーカス変動に対するCD(線幅寸法)変化を示す。尚、通常照明の場合と、斜入射照明の場合とを共に示している。

【0074】

ここで、例えばターゲット63nmに対して±10nmの寸法変動、つまり、 $63 \pm 10 \text{ nm}$ の範囲内の寸法を実現できるフォーカスの最大幅をDOFと定義する。これは、図3において、CDが53nm以上で且つ73nm以下となるフォーカスの幅として示される。図3に示す通り、バイナリマスクを用いる場合、斜入射照明との組み合わせでは $\text{DOF} = 112 \text{ nm}$ 、通常照明との組み合わせでは $\text{DOF} = 117 \text{ nm}$ である。これに対し、本実施形態のフォトマスク40を用いる場合、通常照明との組み合わせでは $\text{DOF} = 128 \text{ nm}$ 、斜入射照明との組み合わせでは $\text{DOF} = 146 \text{ nm}$ である。

10

【0075】

このように、フォトマスク40を用いると、バイナリマスクを用いる場合に比べて、フォーカス変動に対するCD変化が小さい。つまり、DOFが大きい。

【0076】

これに加えて、バイナリマスクの場合、斜入射照明を用いるよりも通常照明を用いる方がDOFは大きいのに対して、本実施形態のフォトマスクの場合、通常照明を用いるよりも斜入射照明を用いる方がDOFは大きい。これは、微細な密集パターンを形成するために斜入射照明を用いる際に、孤立スペースパターンについても同時に微細化することができる事を示している(バイナリマスクの場合、微細な密集パターンを形成するために斜入射照明を用いると、孤立スペースパターンについてはDOFが低下するので微細化が困難になる)。

20

【0077】

次に、フォトマスク40における遮光部(12a及び12b)について更に説明する。遮光部の幅B1(図1(c)を参照)が大きくなるにつれて、半遮光部と開口部との間の光の干渉度が小さくなり、孤立スペース(16及び17)に関するDOFがバイナリマスクの挙動に近付く。つまり、孤立スペースに関するDOF拡大の効果が得られにくくなる。従って、DOFを大きくするためには、遮光部の幅B1をある程度の値以下に設定する必要がある。

30

【0078】

図4に、遮光部の幅と、孤立スペースにおけるDOFとの関係を示す。ここでは、DOFは、図3の場合と同様に、例えばターゲット幅63nmに対して±10nm以内の寸法変動を実現できるフォーカスの最大幅として定義する。

【0079】

図4に示す通り、遮光部の幅が極小さい範囲以外では、DOFを大きくする効果を得るためにには遮光部の幅を小さくする必要がある。よって、具体例として、遮光部の幅が $0.05 \times / \text{NA}$ (前提事項として説明した例によると、7nm)以上とするとと共に、 $1.13 \times / \text{NA}$ (同じ例によると161nm)以下とすると、バイナリマスクと比較してDOFが10以上向上する。更に、遮光部の幅が $0.12 \times / \text{NA}$ (同じ例によると17nm)以上とするとと共に、 $0.63 \times / \text{NA}$ (同じ例によると90nm)以下とすることにより、20%以上のDOF向上が可能となる。この他にも、同様にして、図4から、DOFを所望量向上するために望ましい遮光部の幅B1の範囲を求めることが可能である。

40

【0080】

この一方、遮光部の幅B1が小さすぎると、孤立スペース(開口部)を透過した光に対して半遮光部を透過した透過光の回り込みによる影響が強くなる。この結果、孤立スペースに対応する光強度の極小値が下がらず、孤立スペース部分のNILS(Normalized Image Log Slope)が悪化するという問題がある。従って、遮光部の幅B1は、NILSの観点から、一定の寸法以上に設定する必要がある。

【0081】

50

N I L S は、次のように定義される。

【0082】

$$N I L S = (\ln I / \times) \times W$$

ここで、Iは光強度、($\ln I / \times$)は光強度の対数勾配、Wはパターンの寸法であり、N I L Sの値が大きいほど、広い露光量余裕度を得ることができる。A r F露光によって形成する微細パターンの場合、N I L Sは、例えば1.3以上であることが好ましい。遮光部の幅を小さくすると、開口部近傍の暗部の光強度が下がらず、光強度の傾きが緩やかになる為、N I L Sは小さくなる。

【0083】

図5は、孤立スペースパターンに関して、遮光部の幅B1と、N I L Sとの関係を示した図である。

【0084】

微細プロセスにおいて、N I L Sの値は1.3以上であることが好ましい。図5から、遮光部の幅B1が $0.13 \times / N A$ （前提事項の例の場合、18nm）以上にする必要があるとわかる。その他、所望のN I L Sを得るために必要な遮光部の幅B1について、図5から求めることができる。

【0085】

以上のようなD O F及びN I L Sに基づく点を合わせて考えると、遮光部の幅B1について、最大値はD O Fにより決定され、最小値はN I L Sにより決定されることが分る。

【0086】

具体例として、 $0.7 \times / N A$ よりも大きい幅L2を有するマスクパターンと、隣のマスクパターンとの間の距離（スペース寸法S1）が、 $0.5 \times / N A$ よりも小さいレイアウトのフォトマスク（図1（b）及び（c）のフォトマスク40）を考える。このとき、幅L2のマスクパターン14a及び14bに半遮光部13a及び13bを配置し、その周辺に、 $0.13 \times / N A$ 以上で且つ $1.13 \times / N A$ 以下の幅を有する遮光部12a及び12bを配置する。これにより、十分なN I L Sを確保すると共に、孤立スペースのD O Fを10%以上向上することができる。同様に、遮光部の幅を $0.13 \times / N A$ 以上で且つ $0.63 \times / N A$ 以下とすると、十分なN I L Sを確保すると共に、孤立スペースのD O Fを20以上向上することができる。

【0087】

次に、半遮光部の幅について説明する。半遮光部の幅が小さいと、露光を行なった際に、半遮光部に対応する光強度が孤立スペースパターンに対応する光強度に対して小さくなる。この結果、光強度分布の周期性が十分に上がらず、D O F拡大の効果が得られにくくなる。これに関して、図6を参照して説明する。

【0088】

図6は、半遮光部の幅に対するD O Fの関係をシミュレーションによって求めた結果を示す。図6から、半遮光部の幅が $0.42 \times / N A$ よりも大きい場合（前提事項として説明した例によると、60nmよりも大きい場合）、半遮光部が存在しないバイナリマスクの例（半遮光部の幅が0nmの場合に相当する）と比較して、10%のD O F拡大が可能となることがわかる。更に、半遮光部の幅が $0.98 \times / N A$ よりも大きい場合（前提事項として説明した例によると、140nmよりも大きい場合）、バイナリマスクと比較して20%のD O F拡大が可能となることがわかる。

【0089】

また、半遮光部の幅H1、遮光部の幅B1については、マスク作成の限界よりも大きな値にすることができるので、マスク作成が容易になり、コスト低減も可能である。

【0090】

但し、以上に挙げた具体的な数値（各寸法について $n \times / N A$ と表すときのnの値等）は、いずれも例示するものであり、これらに限定されるものではない。更に、露光光の波長、光源の形状、N A、M等が異なる場合にも、同様の方法により、望ましい値を求めることができる。

10

20

30

40

50

【0091】

次に、本実施形態のフォトマスク40を用いたパターン形成方法について、その各工程を模式的に示す断面図である図7(a)～(d)を参照して説明する。

【0092】

まず、図7(a)に示すように、シリコン等からなる基板100上に、金属膜、絶縁膜等の被加工膜101を形成する。続いて、図7(b)に示すように、被加工膜101上にポジ型のレジスト膜102を形成する。

【0093】

次に、図7(c)に示すように、フォトマスク40を用いて露光を行なう。例えば、ArFエキシマレーザー、KrFエキシマレーザー等を光源として露光光103を照射する。これにより、フォトマスク40の開口部(孤立スペース16及び17、密集マスクパターン15同士の間の領域等)を透過した透過光105によってレジスト膜102が感光され、結果として開口部に対応する潜像部分102aが形成される。

10

【0094】

この後、図7(d)に示すように、現像を行なうことにより潜像部分102aを除去し、レジスト膜102のうち感光されていない部分からレジストパターン106を得る。

【0095】

ここで、図7(c)の露光の際に、現像工程においてレジスト膜102が完全に溶解するに足りるだけの露光エネルギーが照射されるのは、潜像部分102aのみである。フォトマスク40におけるハーフトーン部(半遮光部13a、13b)を透過した透過光104は、開口部を透過した透過光105と同位相であるが、レジスト膜102を感光して潜像部分とするだけのエネルギーを有していない。従って、フォトマスク40の開口部に対応する部分のレジスト膜102のみが感光される。

20

【0096】

前述のように、フォトマスク40において、幅L2が0.7×/NAよりもマスクパターン14a及び14bが、近傍のパターンと0.5×/NA以下の間隔(スペース寸法S1)にて配置されている例を考える。この時、幅L2のパターン内部に、0.42×/NAよりも大きい幅の半遮光部を配置し、その周囲には幅が0.13×/NAよりも大きく、1.13×/NAよりも小さい遮光部を配置する。また、0.7×/NAよりも小さいライン幅L1を有する微細な密集マスクパターン15を、幅L2のパターンとの間隔もスペース寸法S1として配置する。これにより、開口部、遮光部、半遮光部の配置により露光時の光強度分布に明、暗、明、暗のような周期性を持たせることのできるフォトマスクとなっており、且つ、図4～6によって示した寸法の関係が実現する。

30

【0097】

このようなフォトマスク40を用い、微細な密集マスクパターン15を形成することを目的として斜入射照明を用いた露光を行なうと、孤立スペース16等のDOF拡大が可能になる。この結果、微細な密集パターンと、孤立スペースパターンとを共に精度良く同時に形成することができる。

【0098】

(変形例)

40

以下に、本実施形態のフォトマスクに関する各種変形例を説明する。

【0099】

図8(a)は、本変形例において形成しようとしている例示的パターン51を示す平面図であり、図8(b)は、パターン51の形成に用いる例示的フォトマスク41を示す平面図であり、図8(c)は、図5(b)におけるVIIIC-VIIIC'線における断面図であり、図8(d)は、図5(b)におけるVIIId-VIIId'線における断面図である。ここで、図8(a)～(d)において、図1(a)～(c)と同等の構成要素には同じ符号を付している。

【0100】

フォトマスク41においても、図1(b)のフォトマスク40と同様に、マスクパター

50

ン14a及び14bの内側に半遮光部13a及び13bを備え、その周囲に遮光部12a及び12bが配置されている。また、幅L2のマスクパターン14a及び14bがVc-Vc'線方向に(マスクパターン同士が孤立スペースを挟んで対向する方向に)スペース寸法S1を空けて並んでいる。

【0101】

しかしながら、VIIId-VIIId'線とは異なるVIIId-VIIId'線上において、マスクパターン14aは、マスクパターン14bと並ぶ配置にはならず、 $0.5 \times / N A \times M$ よりも大きいスペース寸法S2を空けてマスクパターン15aと並ぶ配置となっている。このように、マスクパターン14aのうち、隣のマスクパターンとの間隔が所定の値(、NA、Mにより定まる値、例えば前記の $0.5 \times / N A \times M$)よりも大きい部分が存在し、このような部分については、半遮光部13aを配置しない構成になっている。10

【0102】

同様に、マスクパターン14bにおいても、マスクパターン14aとスペース寸法S1を空けて並ぶ部分に半遮光部13bが配置されるようになっている。

【0103】

つまり、DOFが不足するスペース寸法S1の孤立スペースについては、マスクパターン内に半遮光部を配置し、且つ、DOF拡大が不要な大きさのスペース寸法S2を空けて配置された部分については半遮光部を配置していない。これにより、必要な箇所のDOFを拡大することができると共に、フォトマスクの加工が容易になると同時に描画時間の短縮が可能になり、マスクコストの削減が実現する。20

【0104】

次に、図9(a)は、他の例示的フォトマスク42を示す平面図であり、フォトマスク42は、図1(a)のパターンを形成するためのパターンを有する。また、図9(b)は、図9(a)におけるIXb-IXb'線による断面を示す図である。

【0105】

図1(b)のフォトマスク40の場合、マスクパターン14a及び14bの周縁部に遮光部12a及び12bが配置され、半遮光部13a及び13bは、一続きの領域として形成されている。これに対し、図9(a)のフォトマスク42の場合、遮光部12a及び12bはマスクパターン14a及び14bの内側にも形成され、半遮光部13a及び13bを複数の部分に分割している。30

【0106】

このようなフォトマスク42を用いて露光を行なうと、図10に示す通り、光強度分布における明、暗、明、暗の周期性を更に高めることができるので、孤立スペースのDOFを更に拡大することができる。

【0107】

図11には、図1(a)のパターンを形成するための更に別の例示的フォトマスク43を示している。フォトマスク43の場合、遮光部12a及び12bは、マスクパターン14a及び14bの周縁部に加えて、半遮光部13a及び13bの内側にも独立した島状に配置されている。この場合にも、図11のIXb-IXb'線による断面は図9(b)と同様になる。従って、フォトマスク43を用いて露光した場合の光強度分布における明暗は周期性が高くなり、DOF拡大を実現することができる。40

【0108】

これらの他にも、孤立スペースパターンを挟んだマスクパターンの対向方向(例えば図9(a)におけるIXb-IXb'線の方向)について、半遮光部と遮光部とが交互に並ぶような配置とすることにより、DOFの拡大を図ることができる。例えば、半遮光部を囲む部分の遮光部の一部から、反対側の遮光部には達しない突出部が設けられている構成でもよい。

【0109】

また、図12には、図1(a)のパターンを形成するための更に別の例示的フォトマスク44を示している。フォトマスク44の場合、半遮光部13a及び13bがマスクパタ

10

20

30

40

50

ーン 1 4 a 及び 1 4 b の周縁部に配置されている点では図 1 (b) のフォトマスク 4 0 と同様である。但し、半遮光部 1 3 a 及び 1 3 b を囲む遮光部 1 2 a 及び 1 2 b について、平面形状の凸コーナー部 7 1 における幅 B 2 が、凹コーナー部 7 2 における幅 B 3 よりも大きくなっている。これは、光近接効果補正 (O P C : optical proximity correction) を考慮した形状である。このようなマスクパターンとすることにより、凸コーナー部 7 1 、凹コーナー部 7 2 のいずれにおいても、転写後のパターンの形状を改善 (矩形性を向上) することができる。尚、密集マスクパターン 1 5 において、両端の幅が広くなっているのも同様の理由による。

【 0 1 1 0 】

次に、図 1 3 及び図 1 4 は、半遮光部と遮光部とを設けるための他の構成を例示する模式的な断面図である。

【 0 1 1 1 】

図 1 (c) に示すフォトマスク 4 0 の場合、透明基板 1 1 上に半遮光膜 2 3 を形成し、当該半遮光膜 2 3 上の必要箇所に遮光膜 2 2 を設けることによって、半遮光部 1 3 a 及び 1 3 b 、遮光部 1 2 a 及び 1 2 b を構成している。

【 0 1 1 2 】

これに対し、図 1 3 の場合、透明基板 1 1 上の必要箇所に遮光膜 2 2 を形成し、当該遮光膜 2 2 上を覆うように、透明基板 1 1 上の必要箇所に半遮光膜 2 3 を形成することによって、半遮光部 1 3 a 及び 1 3 b 、遮光部 1 2 a 及び 1 2 b を構成している。

【 0 1 1 3 】

更に、図 1 4 の場合、透明基板 1 1 上の必要箇所に半遮光膜 2 3 をパターン化し、当該半遮光膜 2 3 上及び透明基板 1 1 上の必要箇所に遮光膜 2 2 を形成することによって、半遮光部 1 3 a 及び 1 3 b 、遮光部 1 2 a 及び 1 2 b を構成している。図 1 (c) の場合、半遮光膜 2 3 と遮光膜 2 2 とは側面が面一であるのに対し、図 1 4 の場合、遮光膜 2 2 は半遮光膜 2 3 の側面を覆うように形成され、透明基板 1 1 上に接している部分を有する。

【 0 1 1 4 】

いずれの場合も、半遮光膜 2 3 に関わりなく、遮光膜 2 2 の形成された範囲が遮光部となる。よって、図 1 4 において、遮光部の幅は、遮光部におけるスペースパターンの側のエッジから反対側のエッジまでとなる。

【 0 1 1 5 】

フォトマスクに遮光部及び半遮光部を設けるための構成として、図 1 3 及び図 1 4 のようになっていても良い。これらの場合にも、既に説明した通り、遮光部の幅を所定の値 (例えば $0.13 \times / \text{NA}$ よりも大きく、 $1.13 \times / \text{NA}$ よりも小さい値) とすることによって、孤立スペースパターンの D O F 拡大が実現する。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 1 1 6 】

本開示のフォトマスク及びこれを用いたパターン形成方法によると、サイドロープを発生させることなく密集パターン及び孤立スペースパターンを同時に精度良く形成することができ、且つ、フォトマスクの作成が容易になる。よって、素子分離等の S R A M 部 (密集パターン) と L o g i c 部 (孤立スペースパターン) が同時に存在する工程のパターン形成においても有用である。

【 符号の説明 】

【 0 1 1 7 】

1 1	透明基板
1 2 a	遮光部
1 2 b	遮光部
1 3 a 、 1 3 b	半遮光部
1 4 a 、 1 4 b	マスクパターン
1 5	密集マスクパターン
1 5 a	マスクパターン

10

20

30

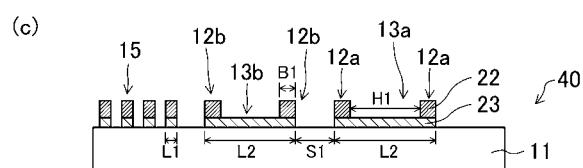
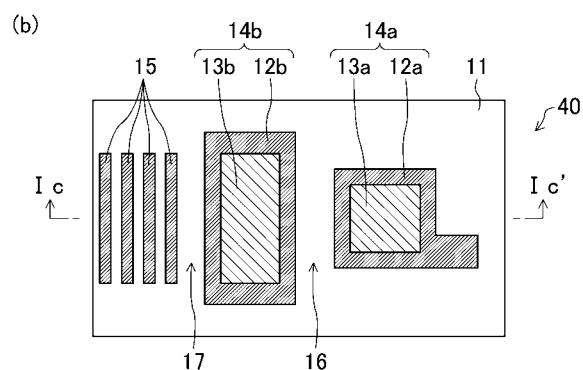
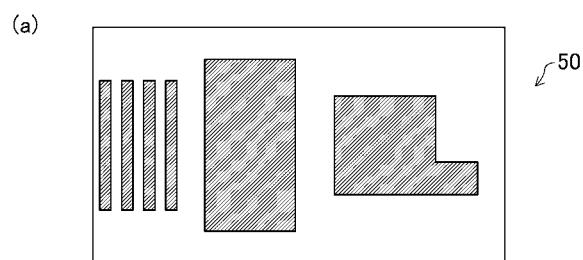
40

50

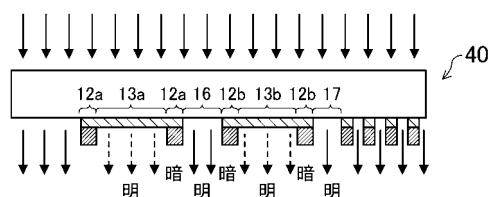
1 6 、 1 7	孤立スペース
2 2	遮光膜
2 3	半遮光膜
4 0 ~ 4 4	フォトマスク
5 0 、 5 1	パターン
7 1	凸コーナー部
7 2	凹コーナー部
1 0 0	基板
1 0 1	被加工膜
1 0 2	レジスト膜
1 0 2 a	潜像部分
1 0 3	透過光
1 0 4	露光光
1 0 5	透過光
1 0 6	レジストパターン

10

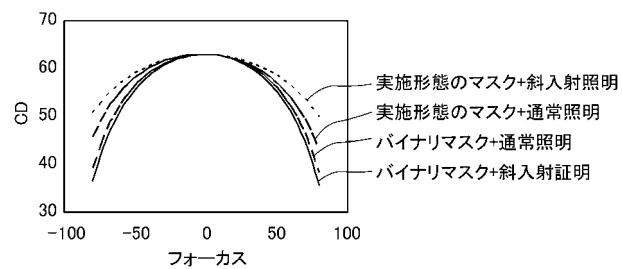
【図1】



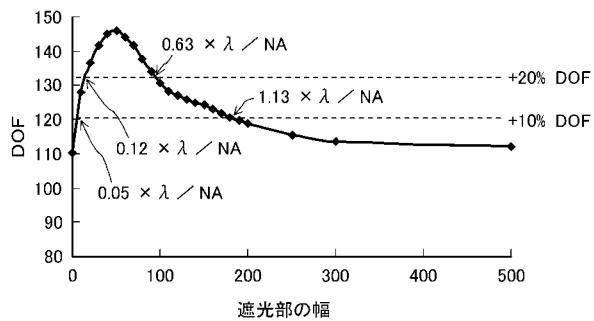
【図2】



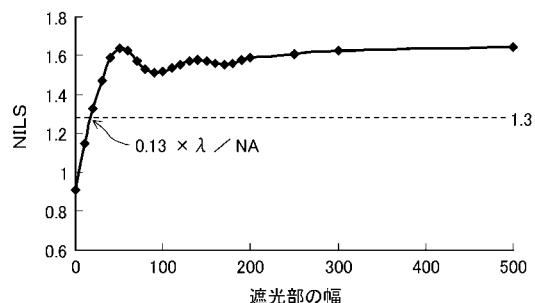
【図3】



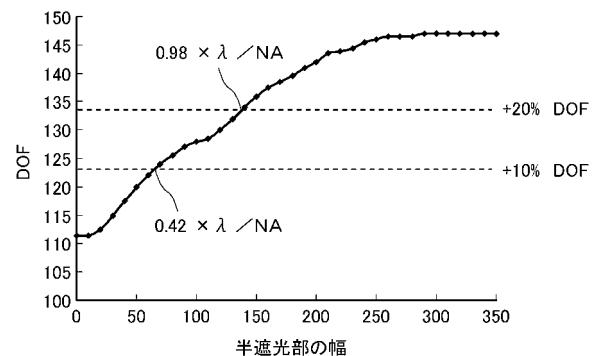
【図4】



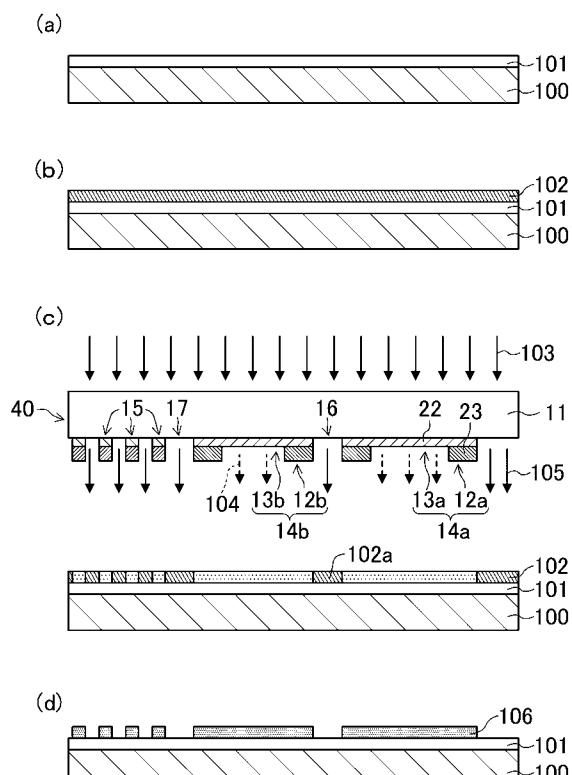
【図5】



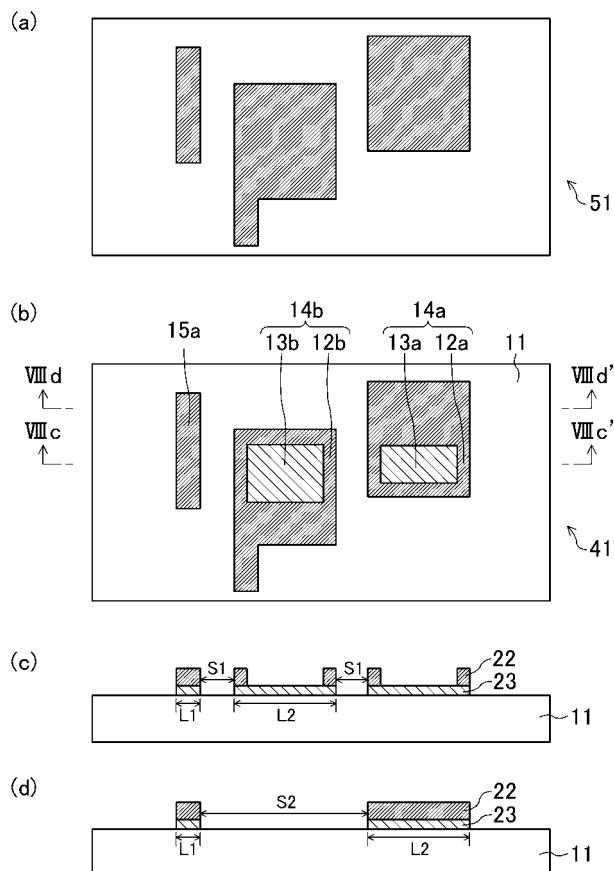
【図6】



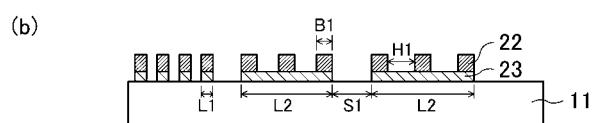
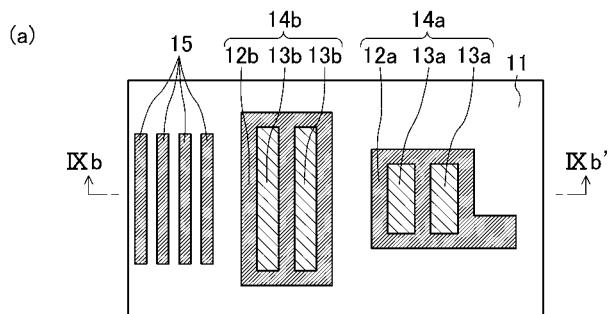
【図7】



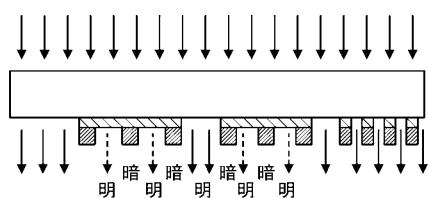
【図8】



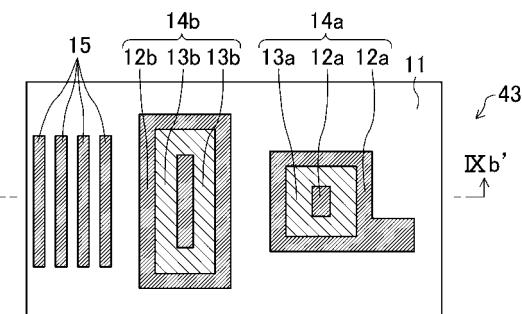
【図 9】



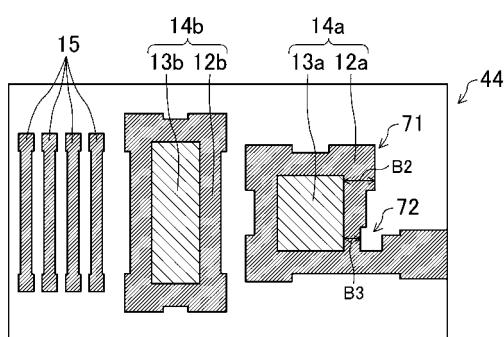
【図 10】



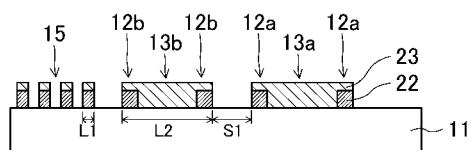
【図 11】



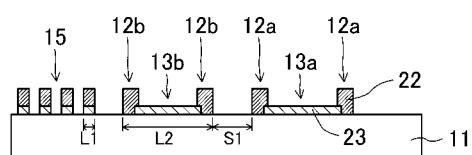
【図 12】



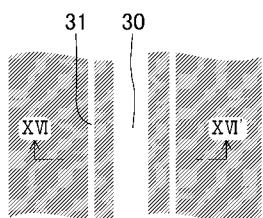
【図 13】



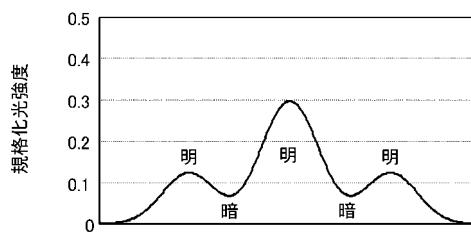
【図 14】



【図 15】



【図 16】



フロントページの続き

(74)代理人 100117710
弁理士 原田 智雄

(74)代理人 100121728
弁理士 井関 勝守

(74)代理人 100124671
弁理士 關 啓

(74)代理人 100131060
弁理士 杉浦 靖也

(74)代理人 100131200
弁理士 河部 大輔

(74)代理人 100131901
弁理士 長谷川 雅典

(74)代理人 100132012
弁理士 岩下 嗣也

(74)代理人 100141276
弁理士 福本 康二

(74)代理人 100143409
弁理士 前田 亮

(74)代理人 100157093
弁理士 間脇 八藏

(74)代理人 100163186
弁理士 松永 裕吉

(74)代理人 100163197
弁理士 川北 憲司

(74)代理人 100163588
弁理士 岡澤 祥平

(72)発明者 野並 勇治
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

(72)発明者 三坂 章夫
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

F ターム(参考) 2H095 BB02 BB03 BB36