

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4194516号
(P4194516)

(45) 発行日 平成20年12月10日(2008.12.10)

(24) 登録日 平成20年10月3日(2008.10.3)

(51) Int.Cl.		F I		
H O 1 L	21/027	(2006.01)	H O 1 L	21/30 5 O 2 D
G O 3 F	1/08	(2006.01)	G O 3 F	1/08 D
G O 3 F	7/20	(2006.01)	G O 3 F	7/20 5 2 1

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2004-97983 (P2004-97983)	(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成16年3月30日(2004.3.30)	(74) 代理人	100105289 弁理士 長尾 達也
(65) 公開番号	特開2005-39204 (P2005-39204A)	(72) 発明者	黒田 亮 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
(43) 公開日	平成17年2月10日(2005.2.10)	(72) 発明者	山田 朋宏 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
審査請求日	平成18年6月9日(2006.6.9)	(72) 発明者	水谷 夏彦 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2003-179587 (P2003-179587)		
(32) 優先日	平成15年6月24日(2003.6.24)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光方法、露光用マスク及びデバイスの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

露光用マスクを構成する複数の開口を隣接して有する遮光部材の第一の面を被露光物側に位置させ、前記遮光部材の第二の面側から光を照射して、前記開口から滲み出す近接場光を用いて前記被露光物の露光を行う露光方法であって、

前記光の照射により生ずる表面プラズモンポラリトン波を、前記隣接する複数の開口のそれぞれより前記第一の面側に回り込ませて、前記表面プラズモンポラリトン波同士を干渉させ、前記被露光物中に光強度が低減された部分を形成し、該光強度が低減された部分を利用して露光を行うに際し、

前記開口における前記遮光部材の第一の面側の端部を曲面形状とした露光用マスクを用いて、前記表面プラズモンポラリトン波の前記端部による散乱を低減させ、露光を行うことを特徴とする露光方法。

【請求項2】

前記光強度が低減された部分と、前記開口から近接場光が滲み出す部分との、コントラストの違いに応じた光潜像を前記被露光物中に形成することを特徴とする請求項1に記載の露光方法。

【請求項3】

前記被露光物の厚さは、前記光強度が低減された部分についての、前記第一の面の法線方向に関する強度が最大となる位置と、前記第一の面と前記被露光物の境界面と、の距離よりも小さいことを特徴とする請求項1、2のいずれかに記載の露光方法。

10

20

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の露光方法を用い、加工対象基板上に被露光層を形成した被処理体を露光する露光工程と、

該露光工程により露光された被処理体に所定のプロセスを行う工程と、
を有することを特徴とするデバイスの製造方法。

【請求項 5】

前記露光工程が、前記加工対象基板と前記被露光層との間にバッファ層を設け、該被露光層に形成された露光パターンを該バッファ層に転写するプロセスを有することを特徴とする請求項 4 に記載のデバイスの製造方法。

【請求項 6】

遮光部材に設けられた隣接する複数の開口から滲み出す近接場光を用いて被露光物の露光を行うための露光用マスクであって、

前記隣接する開口同士の間隔が露光に使用される光の波長以下であり、前記開口における前記遮光部材の前記被露光物側の端部を曲面形状とし、

前記露光により前記遮光部材の被露光物側に回り込む表面プラズモンポラリトン波の散乱を低減させる構造としたことを特徴とする露光用マスク。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、露光方法、露光用マスク及びデバイスの製造方法、等に関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体メモリの大容量化や CPU プロセッサの高速化・大集積化の進展とともに、光リソグラフィーのさらなる微細化は必要不可欠のものとなっている。一般に光リソグラフィー装置における微細加工限界は、用いる光の波長程度である。このため、光リソグラフィー装置に用いる光の短波長化が進み、現在は近紫外線レーザーが用いられ、 $0.1 \mu\text{m}$ 程度の微細加工が可能となっている。

このように微細化が進む光リソグラフィーであるが、 $0.1 \mu\text{m}$ 以下の微細加工を行なうためには、レーザーのさらなる短波長化、その波長域でのレンズ開発等解決しなければならない課題も多い。

【0003】

一方、光による $0.1 \mu\text{m}$ 以下の微細加工を可能にする手段として、近接場光学顕微鏡（以下 SNOM と略す）の構成を用いた微細加工装置が提案されている。例えば、 100nm 以下の大きさの微小開口から滲み出る近接場光を用いてレジストに対し、光波長限界を越える局所的な露光を行なう装置である。

しかしながら、これらの SNOM 構成のリソグラフィー装置では、いずれも 1 本（または数本）の加工プローブで一筆書きのように微細加工を行なっていく構成であるため、あまりスループットが向上しないという問題点を有していた。このような問題点を解決する一つの方法として、例えば、特許文献 1 に示されているように、遮光膜に $0.1 \mu\text{m}$ 以下の開口パターンを設けた光マスクに裏面から光を照射し、この開口パターンから滲み出る近接場光を用いて、光マスクのパターンをレジストに対して一括して転写する近接場マスクによる露光技術の提案がなされている。

【特許文献 1】特開平 11 - 145051 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、上記特許文献 1 の近接場マスクによる露光方法においては、該マスクの開口パターンから滲み出る近接場光の分布は、出射側の開口の端部から全方向に広がるように分布するため、開口パターンと開口パターンとの間隔が近づくにつれ、隣接する開口パターンから滲み出た近接場光同士が重なり合い、露光分解能に限界を生じる可能性があった

10

20

30

40

50

【 0 0 0 5 】

そこで、本発明はこのような課題を解決し、近接場マスクによる露光に際して、マスクの隣接する開口から滲み出る近接場光同士が重なり合うことなく、高い分解能で露光することが可能となる、露光方法、露光用マスク及びデバイスの製造方法等を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本発明は、以下のように構成した露光方法、露光用マスク及びデバイスの製造方法を提供するものである。

すなわち、本発明の露光方法は、露光用マスクを構成する複数の開口を隣接して有する遮光部材の第一の面を被露光物側に位置させ、前記遮光部材の第二の面側から光を照射して、前記開口から滲み出す近接場光を用いて前記被露光物の露光を行う露光方法であって、

前記光の照射により生ずる表面プラズモンポラリトン波を、前記隣接する複数の開口のそれぞれより前記第一の面側に回り込ませて、前記表面プラズモンポラリトン波同士を干渉させ、前記被露光物中に光強度が低減された部分を形成し、該光強度が低減された部分を利用して露光を行うに際し、

前記開口における前記遮光部材の第一の面側の端部を曲面形状とした露光用マスクを用いて、前記表面プラズモンポラリトン波の前記端部による散乱を低減させ、露光を行うことを特徴とするものである。

また、本発明の露光方法は、前記光強度が低減された部分と、前記開口から近接場光が滲み出す部分との、コントラストの違いに応じた光潜像を前記被露光物中に形成するように構成することができる。

また、本発明の露光方法は、前記被露光物の厚さが、前記光強度が低減された部分についての、前記第一の面の法線方向に関する強度が最大となる位置と、前記第一の面と前記被露光物の境界面と、の距離よりも小さいことを特徴としている。

また、本発明のデバイスの製造方法は、上記したいずれかに記載の露光方法を用い、加工対象基板上に被露光層を形成した被処理体を露光する露光工程と、該露光工程により露光された被処理体に所定のプロセスを行う工程と、を有することを特徴としている。その際、前記露光工程が、前記加工対象基板と前記被露光層との間にバッファ層を設け、該被露光層に形成された露光パターンを該バッファ層に転写するプロセスを有する構成とすることができる。

また、本発明の露光用マスクは、遮光部材に設けられた隣接する複数の開口から滲み出す近接場光を用いて被露光物の露光を行うための露光用マスクであって、

前記隣接する開口同士の間隔が露光に使用される光の波長以下であり、前記開口における前記遮光部材の前記被露光物側の端部を曲面形状とし、

前記露光により前記遮光部材の被露光物側に回り込む表面プラズモンポラリトン波の散乱を低減させる構造としたことを特徴としている。

なお、本願発明において、表面プラズモンポラリトン波同士の干渉により光強度が低減された部分とは、光強度が略0の部分を含む。

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

本発明によれば、隣接する開口同士の間隔が光の波長以下まで近い場合であっても、マスクの隣接する開口から滲み出る近接場光同士が重なり合うことなく、高い分解能で露光することが可能となる露光方法、露光用マスク及びデバイスの製造方法、等を実現することができる。

また、マスクの被露光物に対して近接させる面側に位置する開口端部を、表面プラズモンポラリトン波の散乱を低減させるように構成することで、コントラストをさらに向上させることが可能となる近接場露光マスクを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

本発明の発明の実施の形態における近接場露光方法に用いる近接場露光マスクの構造およびその機能を図1を用いて説明する。

図1に近接場露光マスクの構成の詳細を示す。図1aはマスクのおもて面側から見た図、図1bは断面図である。

図1に示すように、近接場露光マスクは、 $0.1 \sim 100 \mu\text{m}$ の膜厚の薄膜からなる露光波長の光に対して、透明なマスク母材101上に膜厚 $50 \sim 100 \text{nm}$ 程度の遮光膜を構成する金属薄膜102を設け、 100nm 以下の幅の微小開口パターン103を形成したものである。マスク母材101は、基板104に支持されている。

【0009】

マスク母材101の厚さが薄ければ、より弾性変形しやすく、レジストと基板表面のより細かな大きさの凹凸やうねりに対してまで、倣うように弾性変形することが可能であるため、より密着性が増すことになる。しかしながら、露光面積に対して薄過ぎると、マスクとしての強度が不足したり、密着・露光を行った後、剥離させる場合に、レジストと基板との間に作用する吸着力で破壊してしまったりすることとなる。

以上の機械的特性の観点からは、マスク母材101の厚さとしては、 $0.1 \sim 100 \mu\text{m}$ の範囲にあることが望ましい。

また、マスク母材101の材料としては、半導体プロセス等を用い、膜厚や面粗さ等、形状に対する精度の良い薄膜が作製可能で、薄膜化したときに面内横方向の歪みが少ないものが望ましい。この観点からは、 Si_3N_4 、 SiO_2 、 Si が好ましい。

【0010】

近接場マスク露光装置の構成及び動作の詳細について、図2を用いて説明する。

図2において、201は本発明の露光用のマスクとして用いる近接場露光マスクである。近接場露光マスク201は、マスク母材202、金属薄膜203から構成されている。マスク母材202上に金属薄膜203が設けられており、金属薄膜203には微小開口パターン204が形成されている。

近接場露光マスク201のおもて面(図2では下側)は圧力調整容器205の外側に、また裏面(図2では上側)は圧力調整容器205の内側に面するように配置されている。圧力調整容器205は内部の圧力を調整することができるようになっている。

【0011】

基板206の表面にレジスト207を形成したものを被露光物とする。レジスト207と基板206をステージ208上に取り付け、ステージ208を駆動することにより、近接場露光マスク201に対する基板206のマスク面内2次元方向の相対位置合わせを行う。次に、マスク面法線方向にステージ208を駆動し、近接場露光マスク201のおもて面と基板206上のレジスト207面との間隔が全面にわたって 100nm 以下になるように両者を密着させる。

【0012】

次に、近接場露光マスクとレジストと基板の密着方法の詳細について説明する。

近接場露光マスク201のおもて面と基板206上のレジスト207面が共に完全に平坦であれば、全面にわたって両者を密着させることが可能である。しかしながら、実際には、マスク面やレジストと基板面に凹凸やうねりが存在するので、両者を近づけ、接触させただけでは、密着している部分と非密着部分が混在する状態になってしまう。

そこで、近接場露光マスク201の裏面からおもて面方向に向かって圧力を印加することにより、近接場露光マスク201に弾性変形による撓みを生じさせ、レジスト207と基板206へ押し付けるようにすることにより、全面にわたって密着させることができる。

【0013】

このような圧力を印加する方法の一例として、図2に示したように、近接場露光マスク201のおもて面を圧力調整容器205外側に面するように、裏面を圧力調整容器205内側に面するように配置させ、ポンプ等の圧力調整手段213を用いて、圧力調整容器内に高圧ガスを導入し、圧力調整容器205内が外気圧より高い圧力になるようにする。

10

20

30

40

50

他の例として、圧力調整容器 205 の内部を露光光 210 に対して透明な液体で満たし、シリンダーを用いて圧力調整容器 205 内部の液体の圧力を調整するようにしても良い。

【0014】

ここで、圧力を印加するに際しては、圧力調整手段 213 から圧力調整容器 205 内に高圧ガスを導入し、圧力調整容器 205 内の圧力を増大させ、近接場露光マスク 201 のおもて面と基板 206 上のレジスト 207 面とを全面にわたって均一な圧力で密着させる。

このような方法で圧力の印加を行うと、パスカルの原理により、近接場露光マスク 201 のおもて面と基板 206 上のレジスト 207 面との間に作用する斥力が均一になる。このため、近接場露光マスク 201 や基板 206 上のレジスト 207 面に対し、局所的に大きな力が加わったりすることがなく、近接場露光マスク 201 や基板 206、レジスト 207 が局所的に破壊されたりすることがなくなるという効果を有する。

10

【0015】

このとき、圧力調整容器 205 内の圧力を調整することにより、近接場露光マスク 201 とレジスト 207 と基板 206 との間に働かせる押し付け力、すなわち、両者の密着力を制御することができる。例えば、マスク面やレジストと基板面の凹凸やうねりがやや大きいときには、圧力調整容器内の圧力を高めに設定することにより、密着力を増大させ、凹凸やうねりによるマスク面とレジストと基板面との間の間隔ばらつきをなくすようにすることができる。

【0016】

20

ここでは、近接場露光マスクとレジスト/基板を密着させるために、近接場露光マスクの裏面を加圧容器内に配置し、加圧容器内より低い外気圧との圧力差により、近接場露光マスクの裏面側からおもて面側に圧力が加わるようにした例を示したが、逆の構成として、近接場露光マスクのおもて面およびレジストと基板を減圧容器内に配置し、減圧容器内より高い外気圧との圧力差により、近接場露光マスクの裏面側からおもて面側に圧力が加わるようにしても良い。いずれにしても、近接場露光マスクのおもて面側に比べ、裏面側が高い圧力となるような圧力差を設けるようにすれば良い。

【0017】

さて、上記のようにして、近接場光露光用マスク 201 とレジスト 207 面とを近接場領域まで密着させた後、露光光源 209 から出射される露光光 210 をコリメーターレンズ 211 で平行光にした後、ガラス窓 212 を通し、圧力調整容器 205 内に導入し、近接場光露光用マスク 201 に対して裏面(図 2 では上側)から照射し、近接場光露光用マスク 201 おもて面のマスク母材 202 上の金属薄膜 203 に形成された微小開口パターン 204 から滲み出す近接場光でレジスト 207 の露光を行う。

30

【0018】

ここで、レジスト 207 の材料としては、通常の半導体プロセスに用いられるフォトレジスト材料を選択すれば良い。これらのレジスト材料に対して露光可能な光波長はおおむね 200 ~ 500 nm の範囲にあるが、特に 350 ~ 450 nm の範囲にある g 線・i 線対応のフォトレジストを選択すれば、種類も多く、比較的安価であるため、プロセス自由度も高く、コストが低減できる。

40

これらのフォトレジストには、それぞれ膜厚や露光波長に対応した露光感度 E_{th} (= 露光に関するしきい値) が存在し、露光感度 E_{th} 以上の光量を照射することによって、露光が行われる。本発明の近接場光露光装置では、後に詳述するように、レジスト膜厚が 100 nm 以下であることが望ましく、これらのフォトレジストを膜厚 100 nm 以下で用いる場合の露光感度 E_{th} は、おおむね 5 ~ 50 mJ/cm² の範囲にある。

【0019】

露光光源 209 としては、用いるレジスト 207 を露光可能な波長の光を照射するものを用いる必要がある。例えば、レジスト 207 として、前述の g 線・i 線対応のフォトレジストを選択した場合、露光光源 209 として、HeCd レーザー(光波長: 325 nm, 442 nm)、GaN 系の青色半導体レーザー(同: ~ 410 nm)や、赤外光レーザ

50

一の第2高調波(SHG)レーザーや第3高調波(THG)レーザー、水銀ランプ(g線: 436nm, i線: 365nm)を用いれば良い。

【0020】

露光光源209の駆動電圧・電流及び照射時間を調節することにより、露光光量の調節を行う。例えば、ビーム径1mm, 光出力100mWのHeCdレーザーのビームをビーム・エクステンダーやコリメーターレンズを用いて、100mm×100mmの領域に拡大した場合、単位面積あたりの光パワーは1mW/cm²となる。この光をレジスト表面に10秒照射すると、レジストの露光光量は10mJ/cm²となり、この値が前述のレジストの露光感度E_{th}を越えている場合、露光が行われる。実際は、近接場露光マスクを間に挟んだ状態で、光照射が行われるので、マスクの透過率を考慮した光パワーの調整が必要である。

10

【0021】

ここで、図3を用い、近接場光による露光の原理を説明する。図3において、近接場光露光用マスク301を構成するマスク母材302に入射した入射光303は、金属薄膜304に形成された微小開口パターン305を照射する。ここで、微小開口パターン305の大きさ(幅)は、入射光303の波長に比べて小さく、100nm以下である。

通常、光は波長より小さい大きさの開口をほとんど透過しないが、開口の近傍には近接場光306と呼ばれる光がわずかにしみ出している。この光は、開口から約100nmの距離以下の近傍にのみ存在する非伝搬光であり、開口から離れるとその強度が急激に減少する性質のものである。

20

そこで、この近接場光306がしみ出している微小開口パターン305に対して、基板307上に形成したレジスト308表面を100nm以下の距離にまで近づける。すると、この近接場光306がレジスト308中で散乱されて伝搬光に変換され、レジスト308を露光する。

【0022】

ここで、金属薄膜304の厚さを100nm程度とすれば、入射光303が金属薄膜304の微小開口パターン305形成部分以外の部分を透過する直接透過光をほぼ100%遮光することができ、微小開口パターン305形成部分に対向する部分以外のレジスト308表面が露光することを防止することができる。

30

しかしながら、さらに線幅の小さいパターンを形成するためには、微小開口パターン305の開口幅を小さく、すなわち、微小開口パターン305のアクペクト比(=金属薄膜304の膜厚/微小開口パターン305の開口幅)を大きくする必要がある。

【0023】

本実施の形態で説明したような微小開口パターン305からしみ出る近接場光306を用いた露光方式では、微小開口パターン305の開口幅が小さくなるにつれ、近接場光306の光量が減少する。また、同じ開口幅であっても、金属薄膜304の膜厚が大きいかほど、近接場光306の光量が減少する。これは、光波長より小さい幅の通り路の長さが長いほど近接場光がしみ出しにくいことによる。これらの理由から、微小開口パターン305の開口幅を小さくする場合、露光時間を増大させる。

40

【0024】

レジスト308膜厚が十分に薄ければ、レジスト308中で近接場光の散乱は面内(横)方向にあまり広がることなく、入射光303の波長より小さい大きさの微小開口パターン305に応じた微小パターンの潜像をレジストに形成・転写することができる。このように近接場光による露光を行なった後は、通常のプロセスを用いて基板307の加工を行う。例えば、レジストを現像した後、エッチングを行うことにより、基板307に対して上述の微小開口パターン305に応じた微小パターンを形成する。

【0025】

つぎに、図5を用いて、本発明の近接場露光方法の原理について、詳細に説明する。開口からしみ出る近接場光の分布は、出射側の開口の端部から全方向に広がるように分布す

50

るため、隣接する開口間の距離が小さい場合、開口からしみ出す近接場光の横方向の広がりにより、隣接する開口パターンからしみ出た近接場光同士が重なり合い、露光の分解能が低下する。

しかしながら、発明者らが詳細な光電場解析に基づき発見した知見によれば、図5において、近接場露光マスク501に露光用の入射光502が入射すると、マスク母材503と金属遮光膜504の境界面である第二の面505において、入射光502が開口506、507の入射側端部508、509を照射することにより、表面プラズモンポラリトン波（以下、SPP波と記す。）510、511を生じさせる。

【0026】

このSPP波は、金属遮光膜の開口内部の表面を表面に垂直な方向に電荷の振動が生じる横波として伝搬し、出射側開口端部512、513で一部が散乱されて伝搬光となり、残りは、図5の点線の矢印で示すようにレジスト517と金属遮光膜504の境界面である第一の面514側に回り込み、その表面を伝搬する。このとき、左側の開口506から回り込むSPP波510と右側の開口507から回り込むSPP波511とは、互いに振動方向が逆（＝位相が逆）となるため、第一の面の開口の略中間の位置で互いに干渉する結果、図5の点線で領域を示すように光強度が略0になる部分515を生じる。この光強度が略0になる部分515は、開口間隔が小さくなくても、図中、開口に近づく方向に領域が小さくなるものの、第一の面の開口の略中間の位置に必ず存在する。

【0027】

したがって、第一の面の開口近傍の光強度が有限値を持つ部分516と上記の光強度が略0になる部分515との光強度のコントラストの違いに応じた光潜像をレジスト517中に形成することにより、隣接する開口の間隔が小さくなくても露光の分解能を向上させることが可能となる。ここで、基板518は、上記のようにレジスト517に形成したパターンが転写される基板である。

【0028】

ここで、光強度が略0になる部分とは、厳密な意味で0となる部分を指すものではなく、光強度が低減された部分に包含される幅をもった部分を意味する。

【0029】

開口部分（A - A'、C - C'）と開口の略中間位置（B - B'）での光強度の金属薄膜の第一の面からの距離zに対する関係を、図6のグラフに示す。
A - A'やC - C'の開口部分では、z = 0、すなわち第一の面から離れるにしたがって、光強度は単調減少に減衰する。これは、近接場光が開口から離れるにつれて、急激に減衰する性質を持つことと、近接場光、及び開口の出射端部で散乱され変換された伝搬光がレジスト中で吸収されることにより、強度が減衰することによる。

一方、B - B'の開口の略中間位置では、z = 0、すなわち第一の面から離れるにしたがって、光強度は0からいったん増大し、最大値を経た後、減衰していく。

【0030】

レジストへの光潜像形成において、光照射部と非照射部の光強度の差、すなわちコントラストを大きく取ることにより、形成パターンのエッジ部分を急峻にすることができる。開口部分と開口の略中間部分とを比べて、もっともコントラストが大きくなるのは、z = 0、すなわち第一の面上である。

【0031】

一方、後工程のプロセス余裕度を大きく取ろうとすると、レジストの膜厚は、なるべく大きい値とする必要がある。これらのことから、本発明の近接場露光方法の原理によれば、レジスト膜厚の値としては、図6のグラフにおいて、B - B'の曲線が最大となるzの値、z1よりも小さい値を選択すれば良いことが分かる。

SPP波は、伝搬する表面は凹凸を有していると散乱されてすぐに減衰するのに対し、伝搬する表面が滑らかであると、散乱されず遠距離まで伝搬する。

そこで、図7に示すように、金属遮光膜706における開口の出射側端部701、702を尖っていない曲面状の構造とすると、出射側端部でのSPP波703、704の散乱が

10

20

30

40

50

低減する。これによって、出射側端部での散乱による伝搬光への変換成分が低減され、金属遮光膜 706 の第一の面 707 側に回り込み、その表面を伝搬する SPP 波 703、704 の成分を増加させる。この結果、第一の面近傍かつ該隣接する開口の略中間の位置に生じる光強度が略 0 の部分 705 の領域を該第一の面 707 の法線方向に広げることになり、コントラストを向上させることができる。

【0032】

尚、本発明により奏される効果は、光強度が略 0 の部分を利用することによって得られることはもちろん、光強度が低減された部分を利用することによっても得られる。

【0033】

このとき、図 7 に示した開口の略中間位置 $D - D'$ での光強度の金属薄膜の第一の面からの距離 z に対する関係を図 6 のグラフの $D - D'$ の曲線に示す。 $B - B'$ の曲線に比べ、 $D - D'$ の曲線では最大値を取る z の値が z_1 よりも大きい z_2 にずれる様子を示す。この場合は、レジスト膜厚の値としては、図 6 のグラフにおいて、 $D - D'$ の曲線が最大となる z の値、 z_2 よりも小さい値を選択すれば良い。

10

【0034】

ここで選択したレジストの膜厚が、基板を加工する際のプロセスにおいて、その高さや耐性が足りない時には、基板とレジストとの間にバッファ層を形成する。このバッファ層とは、例えば表面イメージング法（多層レジスト法、表層シリル化法など）を用いる場合の、ハードベーク、非シリル化など、像形成層とは物性が異なるよう処理がされ、あるいは未処理のレジスト層や、酸化膜層、金属層である。バッファ層は、1層でもそれ以上でも良い。像形成層に近接場露光にて作製されたパターンを、ドライエッチング等の方法を用いてバッファ層に転写することにより、加工対象基板の加工に耐えうる厚さのものを形成することができる。

20

【0035】

さて、近接場露光終了後における近接場露光マスクとレジストと基板の剥離に関しては以下のように行う。

図 2 において、圧力調整手段 213 を用い、圧力調整容器 205 内の圧力を外気圧より小さくし、基板 206 上のレジスト 207 面から近接場露光マスク 201 上の金属薄膜 203 面を剥離させる。

また、このような方法で圧力の減圧を行い、レジスト 207 と基板 206 からの近接場露光マスク 201 の剥離を行う場合、パスカルの原理により、近接場露光マスク 201 のおもて面と基板 206 上のレジスト 207 面との間に作用する引力が均一になる。このため、近接場露光マスク 201 や基板 206 上のレジスト 207 面に対し、局所的に大きな力が加わったりすることがなく、近接場露光マスク 201 や基板 206、レジスト 207 が剥離時に局所的に破壊されたりすることもなくなるという効果を有する。

30

【0036】

このとき、圧力調整容器 205 内の圧力を調整することにより、近接場露光マスク 201 とレジスト 207 と基板 206 との間に働く引力、すなわち、両者の引っ張り力を制御することができる。例えば、マスク面とレジストと基板面との間の吸着力が大きいときには、圧力調整容器内の圧力をより低めに設定することにより、引っ張り力を増大させ、剥離しやすくすることができる。

40

前述したように、密着時の圧力印加の装置構成において、図 2 とは逆の構成として、近接場露光マスクのおもて面およびレジストと基板を減圧容器内に配置し、減圧容器内より高い外気圧との圧力差により、近接場露光マスクの裏面側からおもて面側に圧力が加わるようにした場合は、剥離時には、容器内を外気圧より高い圧力にすればよい。

いずれにしても、剥離時には、近接場露光マスクのおもて面側に比べ、裏面側が低い圧力となるような圧力差を設けるようにすれば良い。

【0037】

つぎに、本実施の形態における近接場露光マスク作製方法の詳細について、図 4 を用いて説明する。

50

図4aに示すように、両面研磨された厚さ500 μ mのSi(100)基板401に対し、LP-CVD法を用い、表面(図4中では上面)・裏面(図4中では下面)にそれぞれ、膜厚2 μ mのマスク母材用のSi₃N₄膜402・エッチング窓用のSi₃N₄膜403を成膜する。その後、水晶振動子による膜厚モニターにより制御を行いながら、微小開口パターンを形成するための金属薄膜として、蒸着法により表面のSi₃N₄膜402上にCr薄膜404を膜厚が50nmとなるように成膜する。

【0038】

次に、表面に電子線用のレジスト405を塗布し、電子線ビーム406で10nm幅の描画パターン407を形成し(図4b)、現像を行った後、ドライエッチングを行い、Cr薄膜404に微小開口パターン408を形成する(図4c)。

続いて、裏面のSi₃N₄膜403にエッチング用の窓409を形成し(図4c)、Si基板401に対し、KOHを用いて裏面から異方性エッチングを行い、薄膜状のマスク410を形成する(図4d)。

最後に、マスク支持部材411に接着し、近接場露光マスクとする(図4e)。

【0039】

本実施の形態では、Cr薄膜404に対する微小開口パターン408形成工程に、電子線による加工法を用いた例を示したが、電子線加工以外にも集束イオンビーム加工法、X線リソグラフィ法、走査型プローブ顕微鏡(SPM)加工法を用いても良い。なかでも走査型トンネル顕微鏡(STM)や原子間力顕微鏡(AFM)、近接場光学顕微鏡(SNOM)に代表されるSPM技術を応用した加工法を用いて微小開口パターン形成を行えば、10nm以下の極微小開口パターン形成が可能であるため、これも本発明に極めて適した加工法である。

【0040】

本実施の形態では、マスク母材を薄膜化し、弾性変形させることにより、レジスト面形状に対してならわせ、マスク全面をレジスト面に密着させる例を示した。

また、レジストと基板に密着する側の金属薄膜402表面が平坦でないと、マスクとレジストと基板がうまく密着せず、結果として露光むらを生じてしまう。このため、金属薄膜402表面の凹凸の大きさは、少なくとも100nm以下、望ましくは10nm以下という極めて平坦なものである必要がある。

【0041】

ここで、微小開口パターンの幅は露光に用いる光の波長より小さく、レジストに対して行う所望のパターン露光幅とする。具体的には、1~100nmの範囲から選択することが好ましい。微小開口パターンが100nm以上の場合は、本発明の目的とする近接場光ばかりでなく、強度的により大きな直接伝搬光もマスクを透過するようになるため、この直接伝搬光の影響も考慮する必要がある。

なお、微小開口パターンの幅は100nm以下である必要があるが、長手方向の長さに関しては制限はなく、自由なパターンを選択することができる。例えば、図1aに示したようなカギ型パターンでも良いし、(図示しないが、)S字パターンでも良い。

【0042】

また、図8及び図9に示した、種々の2次元形状のマスクパターン801を有するマスクを本発明の上記した近接場露光マスクに適用した場合、マスクの直下には、803に示すような2次元形状の潜像パターンが形成され、露光現像後、これに対応するレジストパターン802が得られる。

【0043】

例えば、図8(a)に示すような井桁状の微小開口を有するマスクパターンの場合は、図8(a')に示すような2次元のドットアレイ(ポジ型レジストの場合)やホールアレイ(ネガ型レジストの場合)が得られる。これらのパターンは、露光工程で露光された被処理体を、現像してデバイスを作成するデバイス作成方法等において、量子ドットを有する電子デバイスや光デバイスに用いる2次元に配列された量子ドットアレイの形成に適している。

10

20

30

40

50

図8(b)に示すような2次元の微小開口アレイを有するマスクパターンの場合、図8(b')に示すような2次元の井桁アレイ(ポジ型レジストの場合)やホールアレイ(ネガ型レジストの場合)が得られる。

【0044】

図8(c)に示すような遮光金属膜部分が2次元の矩形アレイを有するマスクパターンの場合は、図8(c')に示すような2次元の微小細線ペア(ポジ型レジストの場合)や微小溝アレイ(ネガ型レジストの場合)が得られる。これらのパターンは、上記したデバイス作成方法等において、CMOS電子デバイスに用いられるゲートパターンの形成に適している。

また、図9(d)に示すような遮光金属膜部分がリング形状を有するマスクパターンの場合は、図9(d')に示すような2次元のドットやリングアレイ(ポジ型レジストの場合)やホールやリングアレイ(ネガ型レジストの場合)が得られる。

【0045】

本実施の形態の近接場光露光装置に適用する被加工用の基板206として、Si、GaAs、InP等の半導体基板や、ガラス、石英、BN等絶縁性基板、それらの基板上に金属や酸化物、窒化物等を成膜したものなど広く用いることができる。

ただし、本実施の形態の近接場光露光装置では、近接場光露光用マスク201とレジスト207と基板206とを露光領域全域にわたって、少なくとも100nm以下、望ましくは10nm以下の間隔になるよう密着させることが重要である。したがって、基板としては、なるべく平坦なものを選択する必要がある。

【0046】

同様に、本実施の形態で用いるレジスト207も表面の凹凸が小さく平坦である必要がある。また、近接場露光マスク201からしみ出た光は、マスクから距離が遠ざかるにつれて指数関数的に減衰するため、レジスト207に対して100nm以上の深いところまで露光しにくいこと、及び、散乱されるようにレジスト中に広がり、露光パターン幅を広げることになることを考慮すると、レジスト207の厚さは、少なくとも100nm以下で、さらにできるだけ薄い必要がある。

以上から、レジスト材料・コーティング方法として、少なくとも100nm以下、望ましくは10nm以下の膜厚であって、かつ、レジスト表面の凹凸の大きさが少なくとも100nm以下、望ましくは10nm以下という極めて平坦なものであるような材料・コーティング方法を用いる必要がある。

【0047】

このような条件をみだすものとして、レジスト材料をなるべく粘性が低くなるように溶媒に溶かし、スピコートで極めて薄くかつ均一厚さになるようコーティングしてもよい。

また、他のレジスト材料コーティング方法として、一分子中に疎水基、親水基官能基を有する両親媒性レジスト材料分子を水面上に並べた単分子膜を所定の回数、基板上にすくい取ることにより、基板上に単分子膜の累積膜を形成するLB(Langmuir-Blodgett)法を用いても良い。

また、溶液中や気相中で、基板に対して、一分子層だけ物理吸着あるいは化学結合することにより基板上に光レジスト材料の単分子膜を形成する自己配向単分子膜(Self-Assembled Monolayer)形成法を用いても良い。これらのコーティング方法のうち、後者のLB法やSAM形成法は極めて薄いレジスト膜を均一な厚さで、しかも表面の平坦性よく形成することができるため、本発明の近接場光露光装置にきわめて適したレジスト材料のコーティング方法である。

【0048】

近接場露光においては、露光領域全面にわたり近接場露光マスク201とレジスト207と基板206の間隔が100nm以下でしかもばらつきなく一定に保たれている必要がある。

このため、近接場露光に用いる基板としては、他のリソグラフィプロセスを経て、すで

10

20

30

40

50

に凹凸を有するパターンが形成され、基板表面に100nm以上の凹凸があるものは好ましくない。

したがって、近接場露光には、他のプロセスをあまり経ていない、プロセスの初期の段階のできるだけ平坦な基板が望ましい。したがって、近接場露光プロセスと他のリソグラフィプロセスを組み合わせる場合も、近接場露光プロセスをできるだけ、初めに行うようにするのが望ましい。

【0049】

また、図3において、近接場露光マスク上の微小開口パターン305から滲み出す近接場光306の強度は、微小開口パターン305の大きさや間隔によって異なるので、微小開口の大きさがまちまちであると、レジスト308に対する露光の程度にばらつきが生じてしまい、均一なパターン形成が難しくなる。そこで、これを避けるために、一回の近接場露光プロセスで用いる近接場露光マスク上の微小開口パターンの幅を調整する必要がある。

10

【0050】

以上の説明では、基板全面に対応する近接場露光マスクを用い、基板全面に一括で近接場露光を行う装置について説明を行った。本発明の概念はこれに限定されるものでなく、基板より小さな近接場露光マスクを用い、基板の一部に対する近接場露光を行うことを基板上の露光位置を変えて繰り返し行うステップ・アンド・リピート方式の装置としても良い。

20

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】近接場露光マスクの構成を示す図。

【図2】近接場マスク露光装置の構成及び動作を説明する図。

【図3】近接場露光の原理を説明する図。

【図4】近接場露光マスクの作製方法を示す図。

【図5】本発明の近接場露光方法の原理を説明する図。

【図6】光強度の金属薄膜の第一の面からの距離zに対する関係のグラフを示す図。

【図7】曲面状の構造の出射側端部を有する開口におけるSPP波の散乱の低減を示す図。

【図8】2次元形状パターンを有するマスクを用いた場合に得られるレジストパターンを示す図であり、(a)は井桁状の微小開口を有するマスクパターンを用いた場合、(b)は2次元の微小開口アレイを有するマスクパターンを用いた場合、(c)は遮光金属膜部分が2次元の矩形アレイを有するマスク用いた場合、に得られるそれぞれのレジストパターンを示す図。

30

【図9】2次元形状パターンを有するマスクを用いた場合に得られるレジストパターンを示す図であり、(d)は遮光金属膜部分がリング形状を有するマスクパターンを用いた場合に得られるレジストパターンを示す図。

【符号の説明】

【0052】

101：マスク母材

40

102：金属薄膜

103：微小開口パターン

104：基板

201：近接場露光マスク

202：マスク母材

203：金属薄膜

204：微小開口パターン

205：圧力調整容器

206：基板

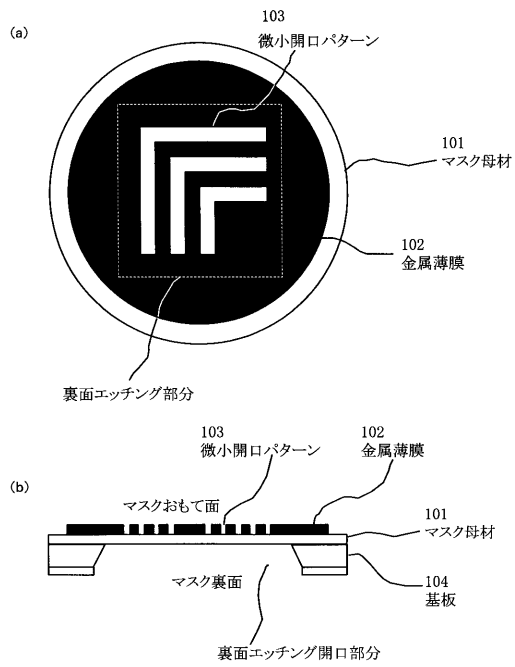
207：レジスト

50

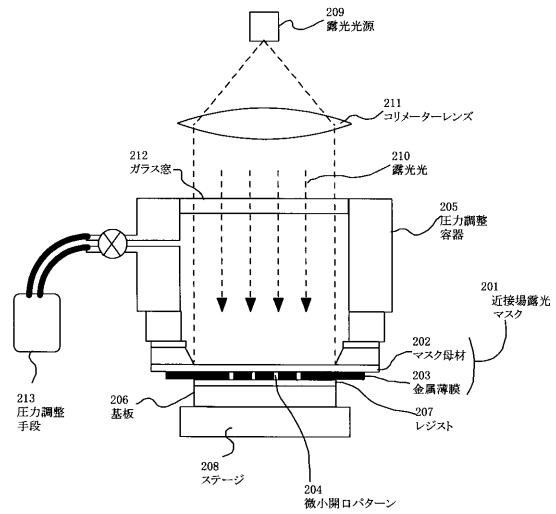
2 0 8	: ステージ	
2 0 9	: 露光光源	
2 1 0	: 露光光	
2 1 1	: コリメーターレンズ	
2 1 2	: ガラス窓	
2 1 3	: 圧力調整手段	
3 0 1	: 近接場露光マスク	
3 0 2	: マスク母材	
3 0 3	: 入射光	
3 0 4	: 金属薄膜	10
3 0 5	: 微小開口パターン	
3 0 6	: 近接場光	
3 0 7	: 基板	
3 0 8	: レジスト	
4 0 1	: S i 基板	
4 0 2	: S i ₃ N ₄ 薄膜	
4 0 3	: S i ₃ N ₄ 薄膜	
4 0 4	: C r 薄膜	
4 0 5	: 電子線レジスト	
4 0 6	: 電子線ビーム	20
4 0 7	: 描画パターン	
4 0 8	: 微小開口パターン	
4 0 9	: エッチング用の窓	
4 1 0	: 薄膜状のマスク	
4 1 1	: マスク支持部材	
5 0 1	: 近接場露光マスク	
5 0 2	: 入射光	
5 0 3	: マスク母材	
5 0 4	: 金属遮光膜	
5 0 5	: 第二の面	30
5 0 6	: 開口 (左)	
5 0 7	: 開口 (右)	
5 0 8	: 入射側端部 (左)	
5 0 9	: 入射側端部 (右)	
5 1 0	: S P P 波 (左)	
5 1 1	: S P P 波 (右)	
5 1 2	: 出射側端部 (左)	
5 1 3	: 出射側端部 (右)	
5 1 4	: 第一の面	
5 1 5	: 光強度が略 0 になる部分	40
5 1 6	: 光強度が有限値を持つ部分	
5 1 7	: レジスト	
5 1 8	: 基板	
7 0 1	: 出射側端部 (左)	
7 0 2	: 出射側端部 (右)	
7 0 3	: S P P 波 (左)	
7 0 4	: S P P 波 (右)	
7 0 5	: 光強度が略 0 になる部分	
7 0 6	: 金属遮光膜	
7 0 7	: 第一の面	50

- 801 : マスクパターン
- 802 : レジストパターン
- 803 : 潜像パターン

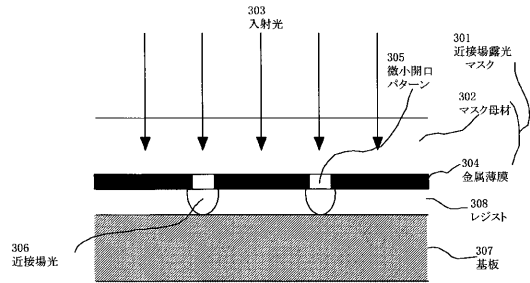
【図1】



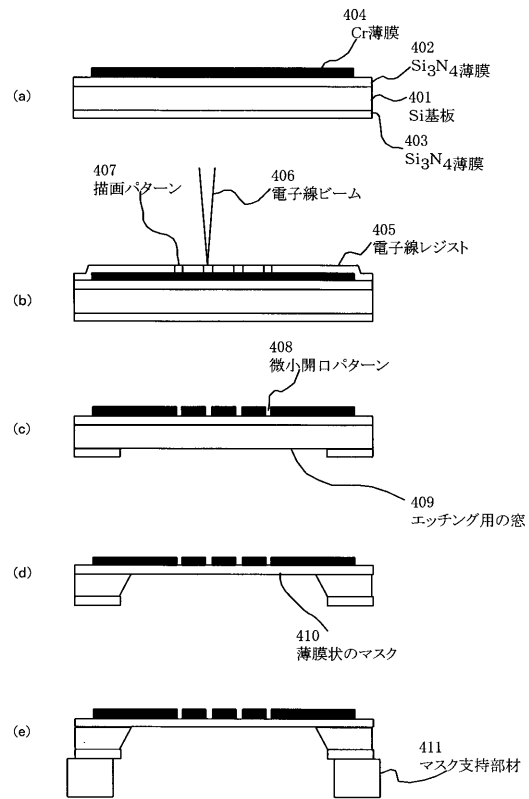
【図2】



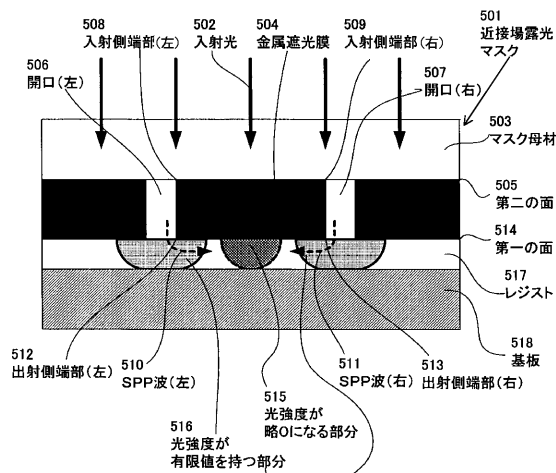
【図3】



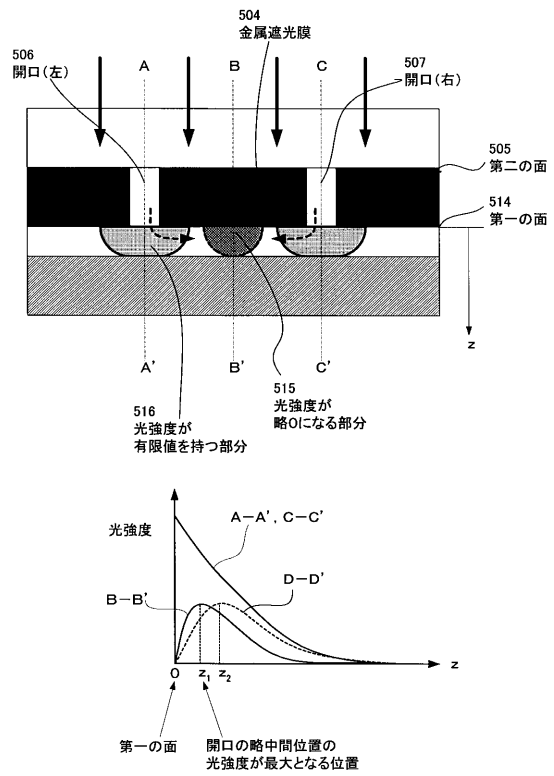
【図4】



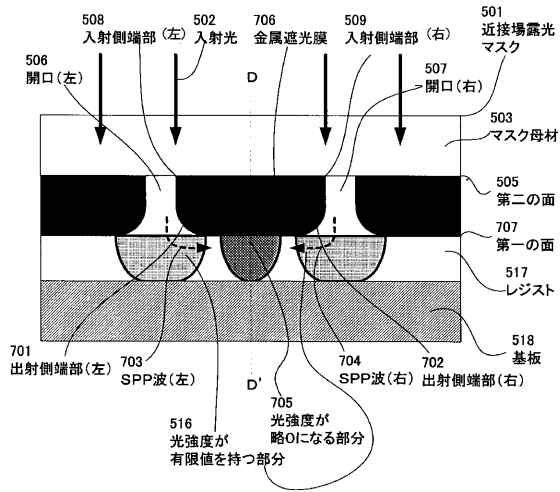
【図5】



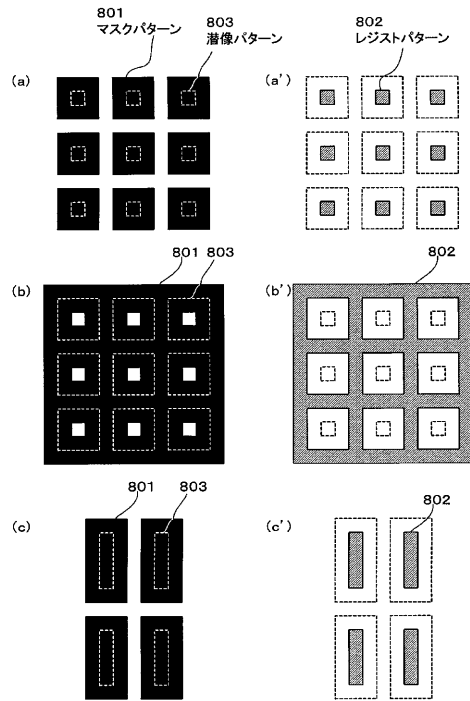
【図6】



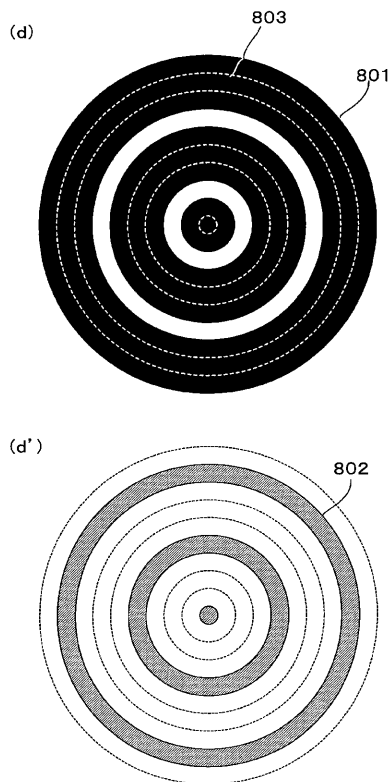
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

審査官 大熊 靖夫

- (56)参考文献 特開2003-066600(JP,A)
特開2001-066762(JP,A)
特開2000-171763(JP,A)
特開平11-317345(JP,A)
特開平11-145051(JP,A)
特開平11-072607(JP,A)
国際公開第03/042748(WO,A1)
国際公開第03/016781(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/027等