

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4297703号
(P4297703)

(45) 発行日 平成21年7月15日(2009.7.15)

(24) 登録日 平成21年4月24日(2009.4.24)

(51) Int.Cl.

F 1

H01L 21/027 (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)H01L 21/30 515D
G03F 7/20 521

請求項の数 15 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2003-59065 (P2003-59065)
 (22) 出願日 平成15年3月5日 (2003.3.5)
 (65) 公開番号 特開2003-257853 (P2003-257853A)
 (43) 公開日 平成15年9月12日 (2003.9.12)
 審査請求日 平成18年2月23日 (2006.2.23)
 (31) 優先権主張番号 60/361,351
 (32) 優先日 平成14年3月5日 (2002.3.5)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 503195263
 エーエスエムエル ホールディング エヌ
 ブイ.
 オランダ国 ヴェルトホーフェン 550
 4 ディー アール, デ ラン 6501
 (74) 代理人 100079108
 弁理士 稲葉 良幸
 (74) 代理人 100093861
 弁理士 大賀 真司
 (74) 代理人 100109346
 弁理士 大貫 敏史
 (72) 発明者 ハリー オー. スーウェル
 アメリカ合衆国 コネチカット 0687
 7, リッジフィールド, ハビランド
 ロード 138

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】位相シフトマスク撮像性能を向上させる装置およびシステム、ならびにその方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

位相シフトマスクと、ある波長の光を生成することが可能な照射源とを用いたフォトトリソグラフィシステムのための遮光アパチャであって、

該波長の該光の第1の部分を遮光する第1の物体であって、該第1の物体は、該フォトトリソグラフィシステムの瞳孔面と該光のゼロ次部分とに配置されている、第1の物体と、

該第1の物体から分離された第2の物体であって、該第2の物体は、該波長の該光の第2の部分を遮光し、該第2の物体は、該瞳孔面と、該フォトトリソグラフィシステムとともに用いられるレチクルのパターンのピッチの関数である位相誤差に対応する該光の分数次部分とに配置されている、第2の物体と

を備え、

該位相シフトマスクは、該位相シフトマスクの表面に形成された凹部および該表面上に形成された凸部のうちの少なくとも1つを有している、遮光アパチャ。

【請求項 2】

前記第1の物体は、第1の面積を有しており、前記瞳孔面における前記光の前記ゼロ次部分は、第2の面積を有しており、該第1の面積は、該第2の面積以上である、請求項1に記載の遮光アパチャ。

【請求項 3】

前記第1の物体は、第1の形状を有しており、前記瞳孔面における前記光の前記ゼロ次部分は、第2の形状を有しており、該第1の形状は、該第2の形状に実質的に対応する、

請求項 2 に記載の遮光アパチャ。

【請求項 4】

前記第1の面積は、前記フォトリソグラフィシステムの調整レンズの開口数の関数である、請求項 2 に記載の遮光アパチャ。

【請求項 5】

前記第1の面積は、前記フォトリソグラフィシステムの前記光の部分的コヒーレンスの関数である、請求項 2 に記載の遮光アパチャ。

【請求項 6】

フォトリソグラフィシステムであって、

ある波長の光が位相シフトマスクを通過するようにすることが可能な照射源と、

該位相シフトマスクからの該光を瞳孔面に収束させることができ第1の調整レンズと

該瞳孔面に配置されている遮光アパチャであって、該光のゼロ次部分において該波長の該光の第1の部分を遮光する第1の物体と、該第1の物体から分離された第2の物体であって、該フォトリソグラフィシステムとともに用いられるレチクルのパターンのピッチの関数である位相誤差に対応する該光の分数次部分において該波長の該光の第2の部分を遮光する第2の物体とを有する遮光アパチャと、

該瞳孔面からフォトレジストに該光をリダイレクトすることができる第2の調整レンズと

を備え、

該位相シフトマスクは、該位相シフトマスクの表面に形成された凹部および該表面上に形成された凸部のうちの少なくとも1つを有している、フォトリソグラフィシステム。

【請求項 7】

前記第1の物体は、第1の面積を有しており、前記光の前記ゼロ次部分は、第2の面積を有しており、該第1の面積は、該第2の面積以上である、請求項 6 に記載のフォトリソグラフィシステム。

【請求項 8】

前記第1の物体は、第1の形状を有しており、前記光の前記ゼロ次部分は、第2の形状を有しており、該第1の形状は、該第2の形状に実質的に対応する、請求項 7 に記載のフォトリソグラフィシステム。

【請求項 9】

前記第1の面積は、前記第1の調整レンズの開口数の関数である、請求項 8 に記載のフォトリソグラフィシステム。

【請求項 10】

前記第1の面積は、前記第1の調整レンズと前記瞳孔面との間の前記光の部分的コヒーレンスの関数である、請求項 8 に記載のフォトリソグラフィシステム。

【請求項 11】

位相シフトマスクと、ある波長の光を生成することができる照射源とを用いたフォトリソグラフィシステムにおいて、撮像性能を向上させる方法であって、

該方法は、

(1) 瞳孔面の部分であって、該位相シフトマスクからの該光の位相誤差部分が収束する部分を特定するステップと、

(2) 該瞳孔面の該特定された部分に遮光アパチャを配置するステップと

を包含し、

該アパチャは、該波長の該光の第1の部分を遮光する第1の物体と、該第1の物体から分離された第2の物体であって、該波長の該光の第2の部分を遮光する第2の物体とを有しており、該第1の物体は、該瞳孔面と該光のゼロ次部分とに配置されており、該第2の物体は、該瞳孔面と、該フォトリソグラフィシステムとともに用いられるレチクルのピッチの関数である特定の位相誤差に対応する該光の分数次部分とに配置されており、

該位相シフトマスクは、該位相シフトマスクの表面に形成された凹部および該表面上に

10

20

30

40

50

形成された凸部のうちの少なくとも 1 つを有している、方法。

【請求項 1 2】

前記アパチャの面積は、前記瞳孔面の前記部分の面積に対応する、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記アパチャの形状は、前記瞳孔面の前記部分の形状に対応する、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 4】

フォトリソグラフィシステムにおいて、撮像性能を向上させる方法であって、該方法は、

(1) ある波長を有する光がレチクルを通過する際に、該波長を有する該光の位相誤差部分を生成するように構成されたパターンを有する位相シフトマスクを有するレチクルを選択するステップであって、該位相誤差部分は、瞳孔面における遮光アパチャに収束するように構成されている、ステップと、

(2) 該波長を有する該光が該レチクルを通過するようにするステップとを包含し、

該遮光アパチャは、該波長を有する該光の第 1 の部分を遮光する第 1 の物体と、該第 1 の物体から分離された第 2 の物体であって、該波長を有する該光の第 2 の部分を遮光する第 2 の物体とを有しており、該第 1 の物体は、該瞳孔面と該光のゼロ次部分とに配置されており、該第 2 の物体は、該瞳孔面と、該フォトリソグラフィシステムとともに用いられるレチクルのピッチの関数である特定の位相誤差に対応する該光の分数次部分とに配置されており、

該位相シフトマスクは、該位相シフトマスクの表面に形成された凹部および該表面上に形成された凸部のうちの少なくとも 1 つを有している、方法。

【請求項 1 5】

(3) 前記レチクルを通過した前記光を用いてフォトレジストを露光するステップをさらに包含する、請求項 1 4 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本出願は、米国仮特許出願第 60/361,351 号の優先権を主張する。米国仮特許出願第 60/361,351 号は、2002 年 3 月 5 日に出願され、その全文を通じて、本明細書中で参考として援用される。

【0002】

本発明は、瞳孔面を有し、位相シフトマスクを用いるフォトリソグラフィシステムにおいて撮像性能を向上させる方法に関する。

【0003】

【従来の技術】

ますます高まる密度を支えるように、フィーチャがより小型化しているデバイスを有する集積回路 (IC) チップを製造する能力は、フォトリソグラフィ方法のとどまることのない進歩に依存している。IC チップ上において、デバイスおよびその接続は、典型的には、複数の段階で製造される。いくつかの段階は、半導体基板 (すなわち、ウェハ) の一部を変更する処理を含む。これらの段階の各々において、処理される部分は、ウェハの残りの部分から絶縁される必要がある。これは、しばしば、膜の層 (すなわち、フォトレジスト) をウェハの表面上に付与し、フォトレジストを光のパターンに露光させることによって達成される。パターンは、ウェハの処理される部分を、残りの部分から区別する。光のパターンは、典型的には、光が不透過部分および透過部分としてパターンが形成されたマスク (すなわち、レチクル) を通過するようにさせることによって生成される。光がレチクルの透過部分を通過する場合、フォトレジストの対応する部分が露光する。フォトレジストの露光した部分、または、露光しない部分のいずれか (両方ではない) が除去されて

10

20

30

40

50

、その下のウェハの部分が処理されるように露出する。ウェハの残りの部分は、残りのフォトレジストによって、処理から保護される。

【0004】

光がレチクルを通過するようにして、ウェハ上のフォトレジストを露光させる機械は、ウェハステッパまたはウェハスキャナと呼ばれる。フォトレジスト上でミクロン以下の寸法のレチクルパターンを正確に表現することを達成するため、高い解像度および焦点深度の両方を支える光源を用いることが必要である。この要件は、フォトリソグラフィ用途における光源としてのレーザーの使用につながった。

【0005】

皮肉なことに、ICチップ上に製造されるデバイスの密度を高めようとする試みは、より高い密度が依存している、その同じフィーチャの小型化に起因してうまく行かなくなる。レチクル上のパターンの寸法が小さくなればなるほど、特に線幅について、パターンを通過する光の回折がより大きくなる。ウェハにおいて、このより大きい光の回折は、それ自体が「スピルオーバー(spill over)」であると示し得、2つの隣接するフィーチャからの電磁エネルギーの分布が合成されて、フィーチャを区別することが困難になる。

【0006】

しかし、位相シフトマスクを用いることによって、2つの隣接するフィーチャからの電磁エネルギーの分布は、互いに位相がずれる。光の強度は、電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗に比例する。従って、位相シフトマスクを用いることによって、2つの隣接するフィーチャの間に強度が最小である点があり、フィーチャを区別できる可能性が高められる。

【0007】

さらに、位相シフトマスクを用いることによって、従来のフォトリソグラフィシステムにおいて用いられる0次および1次の光ではなく、1/2次の光が、建設的干渉の方向となる。1/2次の光を用いることによって、レチクル上のフィーチャの間の間隔が低減されることが可能になる。レチクル上のフィーチャの間の間隔を低減することによって、1/2次の光の回折角度が増大する。回折角度は、1/2次の光がフォトリソグラフィシステムの調整レンズによって捕捉される限り、増大し得る。

【0008】

不運なことに、実行可能な位相シフトマスクを実現することは、光の波長の2分の1の奇数倍の深さ(高さ)であり、特定の幅であり、レチクル上の隣接するフィーチャから正確な間隔のレチクルのくぼみ(または隆起)を精密に製造する能力に依存する。これらの基準からのずれによって、1/2次の光が、完全には互いの位相がずれず、0次の光が、相殺的干渉によって完全には取り消されないことになる。この現象は、「ゼロ次漏れ」と呼ばれる。

【0009】

ゼロ次漏れは、名目上焦点面の上または下のフォトレジストを露光させる光の強度のばらつきの原因となる。これらの強度のばらつきは、ウェハ上に形成される線幅のばらつきの原因となる。このようなウェハ上に形成される線幅のばらつきは、製造中のデバイスの電気または電子特性に有害な影響を与える。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

必要とされているのは、ゼロ次漏れがフォトレジストを露光させる光の強度のばらつきを引き起こすことを防ぐ装置および方法である。このような方法は、容易に実現され、費用がかからないことが好ましい。

【0011】

【課題を解決するための手段】

本発明による遮光アパチャは、光の波長に対して半透過である物体と、該物体を、位相シフトマスクを用いたフォトグラフィシステムの瞳孔面における該光のゼロ次部分に実質的

10

20

30

40

50

に支持する手段とを備え、それにより上記目的が達成される。

【0012】

前記支持する手段が、前記物体と前記フォトグラフィシステムとの間に連結された支持アームであってもよい。

【0013】

前記支持する手段が、エアーベアリングデバイスであってもよい。

【0014】

前記支持する手段が、磁気浮揚デバイスであってもよい。

【0015】

前記物体が、前記波長に対して不透過であってもよい。

10

【0016】

前記物体が第1の面積を有し、前記瞳孔面における前記光の前記ゼロ次部分が第2の面積を有し、該第1の面積は該第2の面積以上であってもよい。

【0017】

前記物体が第1の形状を有し、前記瞳孔面における前記光の前記ゼロ次部分が第2の形状を有し、該第1の形状は該第2の形状に実質的に対応してもよい。

【0018】

前記第1の面積が、前記フォトグラフィシステムの調整レンズの開口率の関数であってもよい。

【0019】

前記第1の面積が、前記フォトグラフィシステムの前記光の部分的コヒーレンスの関数であってもよい。

20

【0020】

前記波長に対して半透過である第2の物体と、該第2の物体を、前記瞳孔面における該光の位相誤差部分に支持する手段とをさらに備えてもよい。

【0021】

前記瞳孔面における前記位相誤差部分が、前記フォトグラフィシステムによって用いられる網線のパターンのピッチの関数であってもよい。

【0022】

本発明によるフォトグラフィシステムは、光が位相シフトマスクを通過するようにさせることができる照射源と、該位相シフトマスクからの該光を、瞳孔面に収束させることができる第1の調整レンズと、実質的に該瞳孔面内に位置し、該光の一部分を遮光することができる、遮光アパチャと、該瞳孔面からの該光を、フォトレジストに向けて方向付けし直すことができる、第2の調整レンズとを備えており、それにより上記目的が達成される。

30

【0023】

前記遮光アパチャが、前記光の波長に対して半透過であってもよい。

【0024】

前記遮光アパチャが、前記光の波長に対して不透過であってもよい。

【0025】

前記遮光アパチャが、前記瞳孔面における前記光のゼロ次部分に位置づけられてもよい。

40

【0026】

前記遮光アパチャが第1の面積を有し、前記瞳孔面における前記光の前記ゼロ次部分が第2の面積を有し、該第1の面積は該第2の面積以上であってもよい。

【0027】

前記遮光アパチャが第1の形状を有し、前記瞳孔面における前記光の前記ゼロ次部分が第2の形状を有し、該第1の形状は該第2の形状に実質的に対応してもよい。

【0028】

前記第1の面積が、前記第1の調整レンズの開口率の関数であってもよい。

【0029】

前記第1の面積が、前記第1の調整レンズと前記瞳孔面との間の前記光の部分的コヒーレ

50

ンスの関数であってもよい。

【0030】

前記遮光アパチャが、該遮光アパチャと前記フォトグラフィシステムの別の部分との間に連結されている支持アームによって支持されてもよい。

【0031】

前記遮光アパチャがエアーベアリングデバイスによって支持されてもよい。

【0032】

前記遮光アパチャが磁気浮揚デバイスによって支持されてもよい。

【0033】

本発明によるフォトグラフィシステムにおいて撮像性能を向上させる方法は、(1)瞳孔面のうちの、位相シフトマスクからの光の位相誤差部分が収束する部分を見つけるステップと、(2)アパチャを該瞳孔面の該見つけられた部分に配置するステップとを包含し、それにより上記目的が達成される。

10

【0034】

前記光の前記位相誤差部分が、該光のゼロ次部分であってもよい。

【0035】

前記アパチャが、前記光の波長に対して不透過であってもよい。

【0036】

前記アパチャが、前記光の別の部分が前記瞳孔面を通過することを可能にしてもよい。

20

【0037】

前記アパチャの面積が、前記瞳孔面の前記見つけられた部分の面積に対応してもよい。

【0038】

前記アパチャの形状が、前記瞳孔面の前記見つけられた部分の形状に対応してもよい。

【0039】

本発明によるフォトグラフィシステムにおいて撮像性能を向上させる方法は、(1)ある波長を有する光が網線を通過する際に該波長を有する該光の位相誤差部分を生成することができるパターンを有する位相シフトマスクを有する網線を選択するステップであって、該位相誤差が瞳孔面に遮光アパチャを収束させることができるステップと、(2)該波長を有する該光が該選択された網線を通過するようにさせるステップとを包含し、それにより上記目的が達成される。

30

【0040】

(3)前記選択された網線を通過した前記光に、フォトレジストを露出させるステップをさらに包含してもよい。

【0041】

本発明は、瞳孔面を有し、位相シフトマスクを用いるフォトリソグラフィシステムにおいて撮像性能を向上させる方法に関する。位相シフトマスクの使用に伴うゼロ次漏れの現象の研究において、本発明者は、位相シフトマスクの製造における製造許容範囲からの逸脱に加えて、ゼロ次漏れの主な原因が、位相シフトマスク自体のトポグラフィから起ることを理解した。位相シフトマスクのトポグラフィは、0次の光の方向における建設的干渉の回折のさらなるモードを生成する。さらに、位相シフトマスクが用いられる場合、1/2次の光が、建設的干渉の所望の方向であり、異なる次数の光は、瞳孔面において異なる領域で収束することを認識し、本発明者は、瞳孔面において、ゼロ次漏れの光を遮光することによって、位相シフトマスク撮像性能を向上させる方法を考えた。

40

【0042】

ある実施形態において、本発明は、遮光アパチャを含む。遮光アパチャは、光の波長に対して半透過である物体と、物体を、位相シフトマスクを用いたフォトグラフィシステムの瞳孔面における光のゼロ次部分に実質的に支持する手段とを含む。支持する手段が、物体とフォトグラフィシステムとの間に連結された支持アーム、エアーベアリングデバイス、磁気浮揚デバイスを含み得るが、これらに限定されない。好ましくは、物体が、波長に対して不透過である。

50

【0043】

典型的には、物体の面積は、瞳孔面における光のゼロ次部分の面積以上である。好ましくは、物体が、瞳孔面における光のゼロ次部分の形状に実質的に対応する形状を有する。面積が、フォトグラフィシステムの調整レンズの開口率の関数、またはフォトグラフィシステムの光の部分的コヒーレンスの関数であり得る。

【0044】

遮光アパチャは、波長に対して半透過である第2の物体と、第2の物体を、瞳孔面における光の位相誤差部分に支持する手段とをさらに含み得る。瞳孔面における光の位相誤差部分が、フォトグラフィシステムによって用いられるレチクルのパターンのピッチの関数であり得る。

10

【0045】

他の実施形態において、本発明は、フォトリソグラフィシステムを含む。フォトリソグラフィシステムは、照射源と、第1の調整レンズと、遮光アパチャと、第2の調整レンズとを含む。照射源は、光が位相シフトマスクを通過するようにさせることができる。第1の調整レンズは、位相シフトマスクからの光を、瞳孔面に収束させることができる。遮光アパチャは、実質的に瞳孔面内に位置し、光の一部分を遮光することができる。第2の調整レンズは、瞳孔面からの光を、フォトレジストに向けて方向付けし直すことができる。

【0046】

遮光アパチャが、遮光アパチャとフォトグラフィシステムの別の部分との間に連結されている支持アーム、エアーベアリングデバイス、磁気浮揚デバイスなどによって支持されている。遮光アパチャが、光の波長に対して半透過である。好ましくは、遮光アパチャが、光の波長に対して不透過である。

20

【0047】

遮光アパチャが、瞳孔面における光のゼロ次部分に位置づけられる。典型的には、遮光アパチャの面積は、瞳孔面における光のゼロ次部分の面積以上である。好ましくは、遮光アパチャが、瞳孔面における光のゼロ次部分の形状に実質的に対応する形状を有する。面積が、フォトグラフィシステムの第1の調整レンズの開口率の関数、または第1の調整レンズと瞳孔面との間の光の部分的コヒーレンスの関数であり得る。

【0048】

さらに他の実施形態において、本発明は、フォトグラフィシステムにおいて撮像性能を向上させる方法を含む。瞳孔面のうちの、位相シフトマスクからの光の位相誤差部分が収束する部分が見つけられる。アパチャが、瞳孔面の見つけられた部分に配置される。光の位相誤差部分が、光のゼロ次部分である。好ましくは、アパチャが、光の波長に対して不透過である。好ましくは、アパチャは、光の別の部分が瞳孔面を通過することを可能にする。好ましくは、アパチャの面積が、瞳孔面の見つけられた部分の面積に対応する。好ましくは、アパチャの形状が、瞳孔面の見つけられた部分の形状に対応する。

30

【0049】

さらに別の実施形態において、本発明は、フォトグラフィシステムにおいて撮像性能を向上させる方法を含む。ある波長を有する光がレチクルを通過する際にその波長を有する光の位相誤差部分を生成することができるパターンを有する位相シフトマスクを有するレチクルが選択される。位相誤差が瞳孔面に遮光アパチャを収束させることができる。波長を有する光が選択されたレチクルを通過するようにさせられる。好ましくは、フォトレジストが、選択されたレチクルを通過させられた光に露光する。

40

【0050】

【発明の実施の形態】

添付の図面は、本明細書中に組み込まれ、明細書の一部を成しているが、本発明の例示であり、記載とともに、本発明の原理を説明し、該当する分野の当業者が本発明を作成し、用いることを可能にする。

【0051】

本発明の好適な実施形態は、図面を参照しながら説明される。図面において、同一の参照

50

符号は、同一の要素、または機能が類似している要素を指す。また、図面において、各参照符号の左端の数字は、その参照符号が最初に用いられている図面を示す。

【0052】

本発明は、瞳孔面を有し、位相シフトマスクを用いるフォトリソグラフィシステムにおいて撮像性能を向上させる方法に関する。位相シフトマスクの使用に伴うゼロ次漏れの現象の研究において、本発明者は、位相シフトマスクの製造における製造許容範囲からの逸脱に加えて、ゼロ次漏れの主な原因が、位相シフトマスク自体のトポグラフィから起きたことを理解した。位相シフトマスクのトポグラフィは、0次の光の方向における建設的干渉の回折のさらなるモードを生成する。さらに、位相シフトマスクが用いられる場合、1/2次の光が、建設的干渉の所望の方向であり、異なる次数の光は、瞳孔面において異なる領域で収束することを認識し、本発明者は、瞳孔面において、ゼロ次漏れの光を遮光することによって、位相シフトマスク撮像性能を向上させる方法を考えた。

【0053】

図1は、例示的なフォトリソグラフィシステム100を示すブロック図である。フォトリソグラフィシステム100は、照射源102、第1の調整レンズ104、および第2の調整レンズ106を含む。照射源102は、光軸110に沿って方向付けされる光108を生成する。光108の一部は、ウェハ114に付与されたフォトトレジストの層に変換されるパターンを複製するように、レチクル112を通過する。第1の調整レンズ104および第2の調整レンズ106が用いられて、光108の一部が、ICに含まれるフィーチャのサイズに収束される。しばしば、フォトリソグラフィシステム100は、光108の全ての部分が通過する瞳孔面116を含む。瞳孔面116は、ユーザに、光108の全ての部分を有効にする様態で、フォトリソグラフィシステム100を調節するために便利な位置を提供する。

【0054】

皮肉なことに、ICチップ上に製造されるデバイスの密度を高めようとする試みは、より高い密度が依存している、その同じフィーチャの小型化に起因してうまく行かなくなる。レチクル112上のパターンの寸法が小さくなればなるほど、特に線幅について、パターンを通過する光108の回折がより大きくなる。回折は、小さい開口部またはバリヤの周りを通過するにつれて、広がり、折れ曲がる波長の性質を意味する。特に重要なことは、回折が、光108の、面「R」118においてレチクル112から出射し、面「W」120においてウェハ114に入射する間の部分に、いかに影響を与えるかである。

【0055】

図2Aおよび図2Bは、面R118の第1の透過部分202および第2の透過部分204を通過した後の光108の干渉の関数から、どのように回折パターンが得られるのかを示す図である。干渉は、コヒーレントな光のビームが、上に重なるか、または交差する場合に起きる現象である。光は、電磁エネルギーの振動波からなる。光のビームが、上に重なるか、または交差する場合、交差点における光の強度は、これらの点における電磁エネルギーの波長の間の相互作用の関数である。交差するビームのコヒーレンスの度合いが高い場合、交差点での光の強度は、電磁エネルギーの波長の振幅のベクトル和の二乗に比例する。コヒーレントなビームは、交差点において、実質的には位相が合っており、光の強度は、個別のビームの各々の寄与よりも強い。交差点は、周囲よりも明るく見える。これは、建設的干渉と呼ばれる。しかし、コヒーレントなビームが、交差点で大幅に位相がずれる場合、光の強度は、個別のビームの各々の寄与よりも弱い。交差点は、周囲よりも暗い。これは、相殺的干渉と呼ばれる。

【0056】

図2Aにおいて、光は、波長「」である。第1の透過部分202および第2の透過部分204の幅は、「 d_1 」である。第1の透過部分202および第2の透過部分204は、間隔「 s_1 」分、隔てられている。第1の波形206は、第1の透過部分202から発生し、第2の波形208は、第2の透過部分204から発生する。回折は、第1の波形206および第2の波形208を、伝播するにつれて、広げる。第1の波形206および第2

10

20

30

40

50

の波形 208 は、広がるにつれて、交差する。

【0057】

間隔 s_1 の中間点における面 R118 上のポイント「O」210 から、3 方向、第1 の方向 212、第2 の方向 214、および第3 の方向 216 が示されている。各第1 の方向 212、第2 の方向 214、および第3 の方向 216 の各々に沿って、第1 の波形 206 および第2 の波形 208 は、波形の位相が互いに合うように、交差する。第1 の方向 212 は、面 R118 に対して垂直である。第1 の破線 218 で示すように、第1 の波形 206 および第2 の波形 208 は位相が互いに合うので、第1 の方向 212 に沿って建設的に干渉する。第2 の破線 220 で示すように、第2 の波形 208 は、第1 の波形 206 よりも、波長 分進んでいる。ここでも、第1 の波形 206 および第2 の波形 208 は互いに位相が合うので、第2 の破線 220 に対して垂直である第2 の方向 214 に沿って建設的に干渉する。同様に、第3 の破線 222 が示すように、第1 の波形 206 は、第2 の波形 208 よりも波長 分進んでいる。ここでも、第1 の波形 206 および第2 の波形 208 は、第3 の破線 222 に対して垂直である第3 の方向 216 に沿って建設的に干渉するよう 10 に、互いに位相が合う。概して、建設的干渉の方向は、式(1)に示すように求められ得る。

$$\text{式 (1)} (s) (s \sin(\theta)) = (m) (0)$$

ただし、「 θ 」は、ポイント O210 において、建設的干渉の方向と第1 の方向 212 との間の角度であり、 m は整数である。

【0058】

建設的干渉の方向の各々は、光の「次数」と呼ばれる。但し、 m は、数値的な順序を示す。典型的には、伝播の方向から観察される場合、第1 の方向 212 の左への光の次数は、負の次数であり、第1 の方向 212 の右への光の次数は、正の次数である。従って、図2Aにおいて、第1 の方向 212 は、「0次」の光であり、第2 の方向 214 は、「負の1次」の光であり、第3 の方向 216 は、「正の1次」の光である。負および正の1次の光の各々の角度「 θ_1 」は、式(1) (ただし、 $m = 1$) から求められる。他の次数の光の方向も同様に求められる。

【0059】

図2Bにおいて、第1 の透過部分 202 および第2 の透過部分 204 は、間隔「 s_2 」(ただし、 $s_2 < s_1$) 分、隔てられている。図2Aと比較すると、図2Bは、第1 の透過部分 202 および第2 の透過部分 204 の間の間隔とともに、回折パターンがいかに変化したかを示している。式(1)を当てはめると、ポイント O210 において、0次の光と、負および正の1次の光との間に角度「 θ_1' 」が形成される(ただし、 $\theta_1' > \theta_1$)。

【0060】

また、図2Bは、ポイント O210 からの第4 の方向 224 および第5 の方向 226 を示す。第4 の方向 224 および第5 の方向 226 の各々に沿って、第1 の波形 206 および第2 の波形 208 は、互いの位相がずれるように、交差する。第4 の破線 228 によって示されるように、第2 の波形 208 は、第1 の波形 206 よりも、波長 の2分の1分進んでいる。ここで、第1 の波形 206 および第2 の波形 208 は、位相がずれているので、第4 の破線 228 に対して垂直である第4 の方向 224 に沿って相殺的に干渉する。同様に、第5 の破線 230 によって示されるように、第1 の波形 206 は、第2 の波形 208 よりも、波長 の2分の1分進んでいる。ここでも、第1 の波形 206 および第2 の波形 208 は、位相がずれているので、第5 の破線 230 に対して垂直である第5 の方向 226 に沿って相殺的に干渉する。相殺的干渉の方向の各々は、「1/2次」の光と呼ばれる。従って、図2Bにおいて、第4 の方向 224 は、「負の1/2次」の光であり、第5 の方向 226 は、「正の1/2次」の光である。負および正の1/2次の光の角度「 $\theta_1 / 2$ 」は、式(1) (ただし、 $m = 1/2$) から求められる。

【0061】

再び図1を参照する。第1 透過部分 202 および第2 透過部分 204 から現れる光 108 50

の0次、負1次、および正1次部分の経路が示される。第1透過部分202から現れる光108の一部と第2透過部分204から現れる光108の一部とを区別するために、下付き文字を使用する。すなわち、第1透過部分202から現れる光108の0次、負1次、および正1次部分は、それぞれ「0_a」、「-1_a」、および「+1_a」と標識される。同様に、第2透過部分204から現れる光108の0次、負1次、および正1次部分は、それぞれ「0_b」、「-1_b」、および「+1_b」と標識される。第1調整レンズ104および第2調整レンズ106はこれらの次数の光108をウェハ114へ再方向付ける。ウェハ114において、第1透過部分202からの光108の一部はポイント「A」122に当たり、かつ第2透過部分204からの光108の一部はポイント「B」124に当たる。ポイントA122およびB124は、間隔「s₁」(s₁' < s₁)だけ分離される。このように、レチクル112のパターンは、ミクロン以下の寸法に低減され、そしてウェハ114へ転写される。
10

【0062】

回折パターンはまた、第1透過部分202および第2透過部分204のそれぞれの幅「d」の関数である。図3Aおよび3Bは、幅d₁を有する第1透過部分202の回折パターンへの寄与を示す。例として、第1透過部分202の回折パターンへの寄与を面「L」302に示す。

【0063】

図3Aにおいて、第1光線「r₁」304は第1透過部分202の上部から面R118を抜け、他方第2光線「r₂」306は第1透過部分202の下部から面R118を抜ける。第1光線r₁206および第2光線r₂208の両方は、面L302にポイント「P₀」308で当たる。ポイントP₀308は、第1透過部分202の中心にあるポイント「Z」310の真向かいである。ポイントP₀308に到達するために、第1光線r₁304および第2光線r₂306は同じ距離を伝播する。第1光線r₁304および第2光線r₂306の波は位相が同じなので強めあうように干渉するので、それらの電磁エネルギーの振幅のベクトル和はポイントP₀308において最大の電磁エネルギーを生成する(グラフ312上に示す)。光108の一部の強度は、電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗に比例する。したがって、ポイントP₀308はまた、主要な最大強度となる(グラフ314上に示す)。

【0064】

図3Bにおいて、第3の光線「r₃」316は第1透過部分202の上部から面R118を抜け、他方第4の光線「r₄」318は第1透過部分202の下部から面R118を抜ける。第3の光線r₃316および第4の光線r₄318の両方は、面L302にポイント「P_{min1}」320で当たる。ポイントP_{min1}320に到達するために、第3の光線r₃316および第4の光線r₄318は異なる距離を伝播する。第3の光線r₃316および第4の光線r₄318が伝播する距離の差は波長の1/2の奇数倍である。第3の光線r₃316および第4の光線r₄318の波は位相が異なり弱めあうように干渉するので、それらの電磁エネルギーの振幅を合わせたベクトル和はポイントP_{min1}320において最小の電磁エネルギーを生成する(グラフ312上に示す)。ポイントP_{min1}320はまた、最小強度となる(グラフ314上に示す)。
40

【0065】

また図3Bにおいて、第5の光線「r₅」322は第1透過部分202の上部から面R118を抜け、他方第6の光線「r₆」324は第1透過部分202の下部から面R118を抜ける。第5の光線r₅322および第6の光線r₆324の両方は、面L302にポイント「P_{LMAX1}」326で当たる。ポイントP_{LMAX1}326に到達するために、第5の光線r₅322および第6の光線r₆324は異なる距離を伝播する。第5の光線r₅322および第6の光線r₆324が伝播する距離の差は波長の1/2の偶数倍である。第5の光線r₅322および第6の光線r₆324の波は位相が同じで強めあうように干渉するので、それらの電磁エネルギーの振幅を合わせたベクトル和はポイントP_{LMAX1}326において局所最大の電磁エネルギーを生成する(グラフ312上
50

に示す）。ポイント $P_{LMAX_1} + 326$ はまた、局所最大強度となる（グラフ 314 上に示す）。

【0066】

グラフ 314 上に示す強度パターンは、ポイント $P_0 308$ における主要な最大強度のポイントの回りで対称である。したがって、ポイント $P_{min_1} - 320$ に対して対称に対応するポイント $P_{min_1} + 328$ があり、かつポイント $P_{LMAX_1} + 326$ に対称に対応するポイント $P_{LMAX_1} - 330$ がある。一般に、最小強度のポイントは式(2)に示すように決定される：

$$\text{式(2)} (d) \sin(\theta) = (n) \quad (1)$$

ここで「 θ 」はポイント $Z310$ における、最小強度のポイントの方向とポイント $P_0 308$ との間に形成される角度であり、かつ n はゼロでない整数である。例えば、ポイント $P_{min_1} - 320$ は、角度「 min_1 」である。

【0067】

図4は、幅「 d_2 」（ $d_2 < d_1$ ）を有する第1透過部分202の回折パターンへの寄与を示す。図3Aおよび3Bと比較して、図4は、第1透過部分202の幅が増加するにつれどのように回折パターンが変化するかを示す。式(2)を適用することにより、最小強度の第1負および第1正ポイントは、ポイント $Z310$ において最小強度のポイントの方向とポイント $P_0 308$ との間の角度「 min_1 」を形成する（ $min_1 > m_i n_1$ ）。したがって、ここで第1透過部分202からの光108の一部の電磁エネルギーの分布はグラフ402に示すようなものとなり、かつ第1透過部分202からの光108の一部の強度の分布はグラフ404に示すようなものとなる。なお、グラフ312および314上のピークはグラフ402および404上のピークよりも急峻である。

【0068】

図5Aおよび5Bは、ウェハ114上の面W120におけるポイントA122およびB124での回折パターンを示す。上記のように、第1調整レンズ104および第2調整レンズ106は光108の一部をウェハ114へ再方向付ける。ウェハ114において、第1透過部分202からの光108の一部はポイントA122に当たり、かつ第2透過部分204からの光108の一部はポイント「B」124に当たる。

【0069】

図5Aは、第1透過部分202および第2透過部分204がそれぞれ幅 d_1 を有し、かつ間隔 s_1 だけ分離される場合の回折パターンを示す。第1透過部分202からの光108の一部の電磁エネルギーの分布は、図3Aおよび3Bにグラフ312として示される。最大エネルギーのポイントは、ポイントA122に対向する位置に示される。同様に、第2透過部分204からの光108の一部の電磁エネルギーの分布は、グラフ502として示される。最大エネルギーのポイントは、ポイントB124に対向する位置に示される。グラフ312および502は同じ形であるが間隔 s_1 だけ離れる。光108の一部の強度は、電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗に比例する。したがって、ウェハ114における光108の一部の強度の分布はグラフ504として示される。この分布は、グラフ312および502に示される電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗である。

【0070】

図5Bは、第1透過部分202および第2透過部分204がそれぞれ幅 d_2 を有し、かつ間隔 s_1 だけ分離される場合の回折パターンを示す。第1透過部分202からの光108の一部の電磁エネルギーの分布は、図4Aにグラフ402として示される。再度、最大エネルギーのポイントは、ポイントA122に対向する位置に示される。同様に、第2透過部分204からの光108の一部の電磁エネルギーの分布は、グラフ502として示される。最大エネルギーのポイントは、ポイントB124に対向する位置に示される。再度、グラフ402および506は同じ形であるが間隔 s_1 だけ離れる。ウェハ114における光108の一部の強度の分布はグラフ508として示される。この分布は、グラフ402および506に示される電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗である。

【0071】

10

20

30

40

50

グラフ 504 および 508 を比較すると、グラフ 504 上のピークはグラフ 508 上のピークよりも急峻であることがわかる。また、グラフ 504 において、第1透過部分 202 からの光 108 の一部に対応するピークは第2透過部分 204 からの光 108 の一部に対応するピークとより容易に区別可能である。対照的に、グラフ 508 において、2つのピークは融合して一方と他方の区別をより困難にする傾向がある。このような状態を「スピルオーバー」と称す。スピルオーバーは、レチクル 112 のパターンの特徴が低減されかつウェハ 114 に転写される際にその特徴間に得られ得る分解能を低下させる。さらに、上記図の検討から、間隔 s が、例えば s_1 から s_2 へ、低減されるとよりスピルオーバーが発生することがわかる。したがって、上記図が示すように、IC チップ上に製造されるデバイスの密度を増加させようとする試みは、より大きな密度が依存する同じくより小さな特徴サイズによって妨げられる。10

【0072】

スピルオーバーを低減する1つの方法は、レチクル 112 のパターンにおける隣接する特徴の電磁エネルギーの振幅のベクトル和を交番位相シフトマスクを使用して低減することである。図 6 は、レチクル 112 が交番位相シフトマスク 600 として実現される際に回折パターンがどのようにして変化するかを示す。交番位相シフトマスク 600 は、第1透過部分 202 および位相シフト透過部分 602 を含む。第1透過部分 202 および位相シフト透過部分 602 のそれぞれは幅 d_2 を有する。第1透過部分 202 および位相シフト透過部分 602 は間隔 s_1 によって分離される。位相シフト透過部分 602 は、さらに面 R 118 において形成された凹部によって特徴付けられる。凹部は面 R 118 中へ波長の 1/2 の奇数倍だけ伸長する（あるいは、位相シフト透過部分 602 は、さらに面 118 上に形成された透過な凸部によって特徴付けられ、凸部は面 R 118 の外へ波長の 1/2 の奇数倍だけ伸長する）。20

【0073】

図 6 において、第1波形 206 は第1透過部分 202 から現れ、他方第2波形 208 は位相シフト透過部分 602 から現れる。間隔 s_1 の中点における面 R 118 上のポイント O 210 から、3つの方向が示される。第1方向 212、第4の方向 224、および第5の方向 226 である。第1方向 212 は面 R 118 に対して垂直である。第1破線 218 によって示されるように、第2波形 208 は第1波形 206 よりも波長の 1/2 だけ先行する。ここで、第1および第2波形 206 および 208 は位相が異なるので、それらは第1方向 212 に沿って弱めあうように干渉する。第4の破線 228 によって示されるように、第1および第2波形 206 および 208 は位相が合うので、それらは第4の方向 224 に沿って強めあうように干渉する。第4の方向 224 は第4の破線 228 に対して垂直である。第5の破線 230 によって示されるように、第1および第2波形 206 および 208 は位相が合うので、それらは第5の方向 226 に沿って強めあうように干渉する。第5の方向 226 は第5の破線 230 に対して垂直である。負および正 1/2 次の光のそれぞれに対してポイント O 210 において形成される角度 ' $\gamma_{1/2}$ ' は、式 (1) ($m = 1/2$ のとき) から決定される。30

【0074】

図 6 と図 2A および 2B を比較すると、図 6 における回折パターンが図 2A および 2B の回折パターンの逆であることがわかる。図 2B において、0次の光（第1方向 212）は強めあう干渉の方向であり、負 1/2 次の光（第4の方向 224）および正 1/2 次の光（第5の方向 226）は弱めあう干渉の方向である。対照的に、図 6 において、0次の光（第1方向 212）は弱めあう干渉の方向であり（図示しないが、負 1 次の光および正 1 次の光と同様である）、負 1/2 次の光（第4の方向 224）および正 1/2 次の光（第5の方向 226）は強めあう干渉の方向である。40

【0075】

さらに、全体として、図 1、2A および 2B ならびに 6 の教示によると、交番位相シフトマスク 600 の第1利点を示す。図 1 は、第1透過部分 202 および第2透過部分 204 からの1次の光（すなわち、 -1_a 、 $+1_a$ 、 -1_b 、および $+1_b$ ）はそれぞれ角度50

₁ でレチクル 112 を抜ける。1 次の光は強めあう干渉の方向である。図 6 は、交番位相シフトマスク 600 を使用することによって、1 次の光は弱めあう干渉の方向となり、他方 1 / 2 次の光が強めあう干渉の方向となる。図 6 において、1 / 2 次の光はそれぞれ角度 $\theta_{1/2}'$ を有する。 $\theta_{1/2}'$ は対応の 1 次の光のそれぞれに対して角度 θ_1' の半分である。図 2 A および 2 B は、間隔 s が、例えば間隔 s_1 から間隔 s_2 へ低減されると角度 θ_1 は θ_1 から θ_1' へ増加する。したがって、図 1 において、レチクル 112 が交番位相シフトマスク 600 として実現されると、間隔 s は角度 θ_1 が増加するように低減され得る。1 / 2 次の光が第 1 調整レンズ 104 に当たる限り、角度 θ_1 は増加され得る。ここで 0 次および 1 次の光は弱めあう干渉の方向であるので、角度 θ_1 の増加によって 1 次の光のいくつか(すなわち、-1_a および +1_b) が第 1 調整レンズ 104 に当たらないおそれがあっても問題とならない。レチクル 112 が交番位相シフトマスク 600 として実現される場合、強めあう干渉の方向である 1 / 2 次の光を使用してレチクル 112 のパターンをウェハ 114 へ転写する。レチクル 112 のそのような構成が交番位相シフトマスク 600 として実現されることを図 7 に示す。図 7 において、第 1 透過部分 202 および位相シフト透過部分 602 は間隔 s_3 (ここで、 $s_3 < s_1$) によって分離される。
10

【0076】

図 8 は、幅 d_2 を有する位相シフト透過部分 602 の回折パターンへの寄与を示す。図 8 において、位相シフト透過部分 602 からの光 108 の一部の電磁エネルギーの分布はグラフ 802 として示される。グラフ 802 は図 4 のグラフ 402 の鏡像イメージである。しかし、光 108 の一部の強度は電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗に比例するので、位相シフト透過部分 602 からの光 108 の一部の強度の分布は図 4 のグラフ 404 と同一である。
20

【0077】

図 9 は、第 1 透過部分 202 および位相シフト透過部分 602 がそれぞれが幅 d_2 を有しあつ間隔 s_3 によって分離される場合のウェハ 114 上の面 W120 におけるポイント A122 および B124 での回折パターンを示す。第 1 透過部分 202 からの光 108 の一部の電磁エネルギーの分布は、図 4 からのグラフ 402 として示される。最大電磁エネルギーのポイントはポイント A122 に対向する位置に示される。同様に、位相シフト透過部分 602 からの光 108 の一部の電磁エネルギーの分布は、グラフ 802 として示される。最大電磁エネルギーのポイントはポイント B124 に対向する位置に示される。グラフ 402 および 802 は鏡像イメージの形を有し、かつ間隔「 s_3' 」だけ離れる。 s_3' は第 1 調整レンズ 104 および第 2 調整レンズ 106 によって生成される間隔 s_3 の低減に対応する。光 108 の一部の強度は電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗に比例する。したがって、ウェハ 114 における光 108 の一部の強度の分布はグラフ 902 として示され、グラフ 402 および 802 に示される電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗である。
30

【0078】

グラフ 902 (図 9) と 508 (図 5 B) とを比較すると、グラフ 902 上のピークがグラフ 508 上のピークよりも急峻であることがわかる。また、グラフ 902 において、第 1 透過部分 202 からの光 108 の一部に対応するピークは、位相シフト透過部分 602 からの光 108 の一部に対応するピークとより容易に区別可能である。対照的に、グラフ 508 において、第 1 透過部分 202 および第 2 透過部分 204 からの 2 つのピークは融合して一方と他方の区別をより困難にする傾向がある。さらに、グラフ 902 上のピークは互いに間隔 s_3' だけ分離される。 s_3' は、グラフ 508 上のピークを分離する s_1' よりも短い。したがって、グラフ 902 は、グラフ 508 によって示されるよりも大きな分解能を示す。このより大きな分解能は交番位相シフトマスク 600 の第 2 利点である。
40

【0079】

理論上では交番位相シフトマスク 600 が IC チップ上に製造されるデバイス密度を増加すると非常に期待されるが、製造能力に制限があるのでこのアプローチの有効性は小さく
50

なる可能性がある。実行可能な交番位相シフトマスク 600 の実現できるかどうかは、波長の $1/2$ の奇数倍の深さ（高さ）を有するレチクル 112 中（上）の凹部（凸部）かつ幅 d を有し、かつ間隔 s だけ隣接する透過部分 202 から離れた位相シフト透過部分 602 を精密に製造する能力に左右される。

【0080】

図 6 について上記したように、これらの評価基準から外れると、第 1 および第 2 波形 206 および 208 が完全に位相が異なるとは限らない（例えば、第 2 波形 208 はおよそ波長の $1/2$ だけ第 1 波形 206 を先行し得る）。したがって、交番位相シフトマスク 600 における 0 次の光の弱めあう干渉は、完全でないことがある。この場合、0 次の光は無視できない強度を有することがある。0 次の光におけるそのような所望しない強度を「ゼロ次漏れ」と称す。

10

【0081】

さらに、交番位相シフトマスク 600 が完璧に製造される場合でさえ、得られたトポグラフィーによって回折のさらなるモードを生じ、0 次の光が無視できない強度を有する原因となる。この現象を「トポグラフィック効果」または「伝送線路（transmission line）効果」と称す。したがって、ある程度のゼロ次漏れは、交番位相シフトマスク 600 の使用に本質的に伴うものである。図 10 は、光 108 の一部が位相シフト透過部分 602 から現れる際に生成されるトポグラフィック効果を示す。

【0082】

図 10 において、6 つの光線が位相シフト透過部分 602 の後壁から現れるように示される。第 1 光線「 r_a 」1004、第 2 光線「 r_b 」1006、第 3 の光線「 r_c 」1008、第 4 の光線「 r_d 」1010、第 5 の光線「 r_e 」1012、および第 6 の光線「 r_f 」1014 である。第 1 の光線 r_a 1004、第 2 の光線 r_b 1006、および第 3 の光線 r_c 1008 は負方向へ回折し、他方第 4 の光線 r_d 1010、第 5 の光線 r_e 1012、および第 6 の光線 r_f 1014 は正方向へ回折する。第 1 の光線 r_a 1004 および第 4 の光線 r_d 1010 は、図 8 と同じように位相シフト透過部分 602 から伝播する。対照的に、第 2 の光線 r_b 1006 および第 3 の光線 r_c 1008 は負側壁 1016 に当たり、そして正方向へ再方向付けられる。同様に、第 5 の光線 r_e 1012 および第 6 の光線 r_f 1014 は正側壁 1018 に当たり、そして負方向へ再方向付けられる。第 2 の光線 r_b 1006 および第 5 の光線 r_e 1012 はそれらの交差点で強めあうように干渉する。同様に、第 3 の光線 r_c 1008 および第 6 の光線 r_f 1014 はそれらの交差点で強めあうように干渉する。第 2 の光線 r_a 1004、第 3 の光線 r_b 1006、第 5 の光線 r_e 1012、および第 6 の光線 r_f 1014 の再方向付けの正味の結果は、無視できない強度を有する光が矢印 1020 によって示されるような 0 次方向へ伝播する。これがトポグラフィック効果である。

20

【0083】

図 11 は、交番位相シフトマスク 600 として実現されるレチクル 112 からの負 $1/2$ 次、正 $1/2$ 次および 0 次の漏れ光の経路を示す。図 11 において、第 1 透過部分 202 および位相シフト透過部分 602 はそれぞれ幅 d_2 を有し、かつ間隔 s_3 だけ分離される。第 1 透過部分 202 から現れる光 108 の一部と位相シフト透過部分 602 から現れる光 108 の一部とを区別するために、下付き文字を使用する。したがって、第 1 透過部分 202 から現れる光 108 の負 $1/2$ 次および正 $1/2$ 次部分はそれぞれ「 $-1/2_a$ 」および「 $+1/2_a$ 」と標識される。負 $1/2$ 次の光 $-1/2_a$ および正 $1/2$ 次の光 $+1/2_a$ は、角度「 $1/2_a$ 」で第 1 透過部分 202 から現れる。同様に、位相シフト透過部分 602 から現れる光 108 の負 $1/2$ 次、正 $1/2$ 次、およびゼロ次漏れ部分はそれぞれ「 $-1/2_b$ 」、「 $+1/2_b$ 」、および「 0_{1b} 」と標識される。負 $1/2$ 次の光 $-1/2_b$ および正 $1/2$ 次の光 $+1/2_b$ のそれぞれは角度「 $1/2_b$ 」で位相シフト透過部分 602 から現れる。

30

【0084】

ここまで面 W120 においてウェハ 114 に当たる光 108 の一部について説明したが、

40

50

数百ナノメーターのオーダーで測定する波長 を用いて、ウェハ114に適用するフォトレジストの層の厚さのはらつきが著しく大きいので、フォトレジスト層を單一面としてモデリングすることは無効となることが当業者に理解され得る。実行可能なフォトリソグラフィシステムは、フォトレジスト層が面W120から実質的に外れても、レチクル112のパターンを低減し、かつウェハ114へパターンを転写することが可能でなければならない。

【0085】

図12は、異なる面における負1/2次、正1/2次、およびゼロ次漏れ光の経路を示す。図12において、面W120は名目上の焦点面として示される。面「X」1202は面W120に平行であり、光源102へ距離「D」だけより近いように示される。同様に、面「Y」1204は面W120に平行であり、光源102から距離「D」だけより遠いように示される。

10

【0086】

負1/2次の光-1/2_a、正1/2次の光+1/2_a、負1/2次の光-1/2_b、正1/2次の光+1/2_b、およびゼロ次漏れ光0_{1b}のそれぞれに沿って、光108の一部の波長 の期間の位相を表すポイントを示す。これらのポイントは、「f」(ゼロから落ちる)、「m」(最小)、「r」(ゼロから上がる)、および「M」(最大)と標識される。波長 は光108のそれぞれの次数の部分のうちの1つの上の2つの共通の位相ポイント間の距離に対応する(すなわち、fからf)。

【0087】

第1透過部分202から現れる光108の一部と位相シフト透過部分602から現れる光108の一部とを区別するために、下付き文字を使用する。したがって、正1/2次の光+1/2_aに対して、波長 は「f_{+1/2a}」から「m_{+1/2a}」、次いで「r_{+1/2a}」、次いで「M_{+1/2a}」、次いで「f_{+1/2a}」へと進む。同様に、負1/2次の光-1/2_aに対して、波長 は「f_{-1/2a}」から「m_{-1/2a}」、次いで「r_{-1/2a}」、次いで「M_{-1/2a}」、次いで「f_{-1/2a}」へと進む。同様に、正1/2次の光+1/2_bに対して、波長 は「f_{+1/2b}」から「m_{+1/2b}」、次いで「r_{+1/2b}」、次いで「M_{+1/2b}」、次いで「f_{+1/2b}」へと進む。また、負1/2次の光-1/2_bに対して、波長 は「f_{-1/2b}」から「m_{-1/2b}」、次いで「r_{-1/2b}」、次いで「M_{-1/2b}」、次いで「f_{-1/2b}」へと進む。最後に、ゼロ次漏れ光0_{1b}に対して、波長 は「r_{01b}」(図示せず)から「M_{01b}」、次いで「f_{01b}」、次いで「m_{01b}」、次いで「r_{01b}」(図示せず)へと進む。

20

【0088】

図12の説明は、負および正1/2次の光-1/2_aおよび+1/2_aは位相が同じであり、かつ負および正1/2次の光-1/2_bおよび+1/2_bはまた位相が同じである。一括して、第1透過部分202から現れる負1/2次の光-1/2_aおよび正1/2次の光+1/2_aならびに位相シフト透過部分602から現れる負1/2次の光-1/2_bおよび正1/2次の光+1/2_bは位相が異なる。これは、図9のグラフ402および802の形状に一致する。

30

【0089】

しかし、ゼロ次漏れ光0_{1b}と位相シフト透過部分602から現れる負および正1/2次の光-1/2_bおよび+1/2_bとを比較すると、これら光の3つの部分は面X1202において実質的に位相が同じであり、ゼロ次漏れ光0_{1b}は面Y1204において負1/2次の光-1/2_bと正1/2次の光+1/2_bとで実質的に位相が異なる。

40

【0090】

図13A、図13Bおよび図13Cは、負の1/2次、正の1/2次、およびゼロ次漏れ光の経路が異なる平面でウェハ114に衝突する際に起こる回折パターンを示す。

【0091】

図13Aは、位相シフト透過部分602から現れるゼロ次漏れ光0_{1b}の、平面W120

50

での回折パターンに対する貢献を示す。第1の透過部分202からの光-1/2_aおよび+1/2_aの1/2次部分の電磁エネルギーの分布を図4からのグラフ402として示す。同様に、位相シフト透過部分602からの光-1/2_bおよび+1/2_bの1/2次部分の電磁エネルギーの分布を図8からのグラフ802として示す。さらに、位相シフト透過部分602からのゼロ次漏れ光0_{1b}の電磁エネルギーの分布をグラフ1302として示す。光108の上記部分の強度は、電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗に比例する。したがって、光108の、平面W120における部分の強度分布はグラフ1304として示す通りであり、これは、グラフ402、802および1302に示す電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗である。

【0092】

10

グラフ802に示す電磁エネルギーの分布は、負および正の1/2次光-1/2_bおよび+1/2_bが互いに近接しているとき(図12参照)に生成されるため、グラフ1302に示す電磁エネルギーの分布は、グラフ1304に示すように、光108の、平面W120における部分の強度分布に対してほとんどインパクトを有していない。グラフ1304(図13A)と902(図9)とを比較すると、両方のグラフが2つのピーク、すなわちピーク「K」1306とピーク「L」1308によって特徴づけられる類似の形状を有することがわかる。各ピークは高さ「h」を有する。

【0093】

図13Bは、位相シフト透過部分602から現れるゼロ次漏れ光0_{1b}の、平面X1202での回折パターンに対する貢献を示す。図13Aに示すように、第1の透過部分202からの光-1/2_aおよび+1/2_aの1/2次部分の電磁エネルギーの分布を図4からのグラフ402として示す。位相シフト透過部分602からの光-1/2_bおよび+1/2_bの1/2次部分の電磁エネルギーの分布を図8からのグラフ802として示す。位相シフト透過部分602からのゼロ次漏れ光0_{1b}の電磁エネルギーの分布をグラフ1302として示す。光108の上記部分の強度は、電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗に比例する。したがって、光108の、平面X1202における部分の強度分布はグラフ1310として示す通りであり、これは、グラフ402、802および1302に示す電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗である。

20

【0094】

30

しかし、グラフ802に示す電磁エネルギーの分布は、負および正の1/2次光-1/2_bおよび+1/2_bがその間にある程度の距離を有しているとき(図12参照)に生成されるため、グラフ1302に示す電磁エネルギーの分布は、グラフ1310に示すように、光108の、平面X1202における部分の強度分布に対してインパクトを有する。ここで、位相シフト透過部分602から現れるゼロ次漏れ光0_{1b}と、負および正の1/2次光-1/2_bおよび+1/2_bとは、互いに実質的に同期している。従って、グラフ802および1302に示す電磁エネルギーの振幅のベクトル和は、グラフ1302に示す電磁エネルギーの振幅よりも大きい。グラフ1310(図13B)と1304(図13A)とを比較すると、両方のグラフが2つのピークによって特徴づけられることがわかる。しかし、グラフ1310において、ピークL1308は高さ「h」を有し、ピークK1306は高さ「h」を有し、h' > hである。

40

【0095】

図13Cは、位相シフト透過部分602から現れるゼロ次漏れ光0_{1b}の、平面Y1204での回折パターンに対する貢献を示す。図13Aおよび図13Bに示すように、第1の透過部分202からの光-1/2_aおよび+1/2_aの1/2次部分の電磁エネルギーの分布を図4からのグラフ402として示す。位相シフト透過部分602からの光-1/2_bおよび+1/2_bの1/2次部分の電磁エネルギーの分布を図8からのグラフ802として示す。位相シフト透過部分602からのゼロ次漏れ光0_{1b}の電磁エネルギーの分布をグラフ1302として示す。光108の上記部分の強度は、電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗に比例する。従って、光108の、平面X1202における部分の強度分布はグラフ1312として示す通りであり、これは、グラフ402、802および130

50

2 に示す電磁エネルギーの振幅のベクトル和の二乗である。

【0096】

しかし、グラフ 802 に示す電磁エネルギーの分布は、負および正の 1/2 次光 - 1/2_b および + 1/2_b がその間にある程度の距離を有しているとき（図 12 参照）に生成されるため、グラフ 1302 に示す電磁エネルギーの分布は、グラフ 1308 に示すように、光 108 の、平面 Y1204 における部分の強度分布に対してインパクトを有する。ここで、位相シフト透過部分 602 から現れるゼロ次光 0_{1b} と、負および正の 1/2 次光 - 1/2_b および + 1/2_b とは、互いに実質的に非同期である。従って、グラフ 802 および 1302 に示す電磁エネルギーの振幅のベクトル和は、グラフ 1302 に示す電磁エネルギーの振幅よりも小さい。グラフ 1312（図 13C）と 1304（図 13A）とを比較すると、両方のグラフが 2 つのピークによって特徴づけられることがわかる。しかし、グラフ 1312 において、ピーク L1308 は高さ「h」を有し、ピーク K1306 は高さ「h」を有し、h" < h である。

【0097】

図 14A、図 14B および図 14C は、ゼロ次漏れが印刷された線および空間に及ぼす悪影響を示す走査型電子顕微鏡画像である。図 14A は、平面 W120 に露出したフォトトレジストから形成された線に対応する。線 1402 は、グラフ 1304 のピーク K1306 に対応する強度で露出したフォトトレジストに対応する。線 1404 は、グラフ 1304 のピーク L1308 に対応する強度で露出したフォトトレジストに対応する。線 1402 および 1404 は均一な幅を有する。図 14B は、平面 X1202 に露出したフォトトレジストから形成された線に対応する。線 1402 は、グラフ 1310 のピーク K1306 に対応する強度で露出したフォトトレジストに対応する。線 1404 は、グラフ 1310 のピーク L1308 に対応する強度で露出したフォトトレジストに対応する。線 1402 は線 1404 よりも狭い幅を有する。図 14C は、平面 Y1204 に露出したフォトトレジストから形成された線に対応する。線 1402 は、グラフ 1312 のピーク K1306 に対応する強度で露出したフォトトレジストに対応する。線 1404 は、グラフ 1312 のピーク L1308 に対応する強度で露出したフォトトレジストに対応する。線 1402 は線 1404 よりも広い幅を有する。当業者であれば、ウェハ 114 上に形成された線幅の変化が、製造中のデバイスの電気的または電子的特性に悪影響を及ぼし得ることを理解し得る。特に懸念されるのは、変化する位置が変わることであるが、これは露出したフォトトレジストが名目上焦点面の上方にあるか下方にあるかに依存する。

【0098】

図 15 は、本発明によるフォトリソグラフィシステム 1500 をブロック図により説明する。フォトリソグラフィシステム 1500 は、照射源 102 と、第 1 の調整レンズ 104 と、遮光アパチャ 1502 と、第 2 の調整レンズ 106 とを含む。照射源 102 は、光 108 が網線 112 の交番位相シフトマスク 600 を通過するようにさせることができる。第 1 の調整レンズ 104 は、交番位相シフトマスク 600 からの光 108 を瞳孔面 116 に収束させることができる。遮光アパチャ 1502 は、実質的に瞳孔面 116 内に位置し、光 108 の一部分を遮光することができる。第 2 の調整レンズ 106 は、瞳孔面 116 からの光 108 をフォトトレジスト（ここではウェハ 116 上に示す）に向けて方向付けし直すことができる。

【0099】

遮光アパチャ 1502 は、遮光アパチャ 1502 と、フォトリソグラフィシステム 1500 の別の部分、すなわちエアーベアリングデバイス（図示せず）、磁気浮揚デバイス（図示せず）などとの間に連結された支持アーム（図示せず）によって支持され得る。遮光アパチャ 1502 は、光 108 の波長 に対して半透過である。遮光アパチャ 1502 は好適には、光 108 の波長 に対して不透過である。

【0100】

遮光アパチャ 1502 は、瞳孔面 116 における光 108 のゼロ次部分に位置する。典型的には、遮光アパチャ 1502 の面積は、瞳孔面 116 における光 108 のゼロ次部分（

10

20

30

40

50

たとえば、 0_{1b} ）の面積以上である。遮光アパチャ 1502 は好適には、瞳孔面 116 における光 108 のゼロ次部分の形状に実質的に対応する形状を有する。この面積は、第 1 の調整レンズ 104 の開口率の関数、または第 1 の調整レンズ 104 と瞳孔面 116 との間の光 108 の部分的コヒーレンスの関数であり得る。

【0101】

図 16 は、本発明による遮光アパチャ 1600 を示す。遮光アパチャ 1600 は、光 108 の波長 に対して半透過である物体 1602 と、交番位相シフトマスク 600 を用いたフォトグラフィシステム（たとえば、フォトグラフィシステム 1500）の瞳孔面 116 における光 108 のゼロ次部分（たとえば、 0_{1b} ）に物体 1602 を実質的に支持する手段を含む。支持手段は、物体 1602 とフォトグラフィシステム（図示せず）との間に連結された支持アーム 1604 と、エアーベアリングデバイス（図示せず）と、磁気浮揚デバイス（図示せず）とを含み得るがこれらには限定されない。物体 1602 は好適には、光 108 の波長 に対して不透過である。

【0102】

典型的には、物体 1602 の面積は、瞳孔面 116 における光 108 のゼロ次部分（たとえば、 0_{1b} ）の面積以上である。物体 1602 は好適には、瞳孔面 116 における光 108 のゼロ次部分の形状に実質的に対応する形状を有する。この面積は、フォトグラフィシステムの調整レンズ（たとえば、第 1 の調整レンズ 104）の開口率の関数、またはフォトグラフィシステムの光 108 の部分的コヒーレンスの関数であり得る。

【0103】

図 17 は、遮光アパチャ 1700 を示し、遮光アパチャ 1700 は、第 2 の物体 1702 と、第 3 の物体 1704 と、第 2 および第 3 の物体 1702 および 1704 を瞳孔面 116 における光 108 の位相誤差部分に支持する手段とを含む。第 2 および第 3 の物体 1702 および 1704 は、光 108 の波長 に対して半透過である。当業者であれば、さらなる位相誤差が、特にフォトグラフィシステムによって用いられる網線 112 のパターンのピッチの関数として、起こり得ることを理解する。これらの他の位相誤差は、光の他の 1 未満の次数、たとえば光の 3/4 次などと関連づけられ得る。遮光アパチャ 1700 は、270 ナノメートルのピッチで 90 ナノメートルの線幅を有するパターンを有する状態で示されている。ピッチが増加すると、第 2 および第 3 の物体 1702 および 1704 が物体 1602 に近づく方向に移動する。

【0104】

図 18 は、フォトグラフィシステムにおける撮像性能を向上させる方法 1800 のフローチャートを示す。方法 1800 では、ステップ 1802 において、瞳孔面のうち、位相シフトマスクからの光の位相誤差部分が収束する部分が見つけられる。ステップ 1804 において、アパチャが瞳孔面の見つけられた部分に配置される。光の位相誤差部分は、光のゼロ次部分であり得る。アパチャは好適には、光の波長 に対して不透過である。アパチャは好適には、光の別の部分が瞳孔面を通過することを可能にする。アパチャの面積は好適には、瞳孔面の上記見つけられた部分の面積に対応する。アパチャの形状は好適には、瞳孔面の上記見つけられた部分の形状に対応する。

【0105】

図 19 は、フォトグラフィシステムにおける撮像性能を向上させる方法 1900 のフローチャートを示す。方法 1900 では、ステップ 1902 において、ある波長を有する光が網線を通過する際に上記波長を有する光の位相誤差部分を生成することができるパターンを有する位相シフトマスクを有する網線が選択される。位相誤差は、瞳孔面における遮光アパチャにおいて収束することができる。ステップ 1904 において、上記波長を有する光が選択された網線を通過する。好適には、ステップ 1906 において、フォトレジストが、選択された網線を通過した光に露出させる。

【0106】

本発明の実施形態を述べてきたが、上記実施形態は例示のためのみに示されたものであり、本発明を限定するものではないことが理解されるべきである。当業者であれば、特許請

10

20

30

40

50

求の範囲で定義された本発明の精神および範囲から逸脱することなく、形態および詳細の様々な変更がなされ得ることを理解する。したがって、本発明の範囲は、上記の例示のための実施形態によって限定されるべきではなく、特許請求の範囲およびその均等物によってのみ定義されるべきである。

【0107】

瞳孔面を有し位相シフトマスクを用いるフォトグラフィシステムにおける撮像性能を向上させる方法。瞳孔面のうち、位相シフトマスクからの光の位相誤差部分が収束する部分が見つけられる。瞳孔面の見つけられた部分にアパチャが配置される。典型的には、位相シフトマスクからの光の位相誤差部分は、「ゼロ次漏れ」としばしば呼ばれる、光のゼロ次部分である。ゼロ次部分漏れを遮光することによって、名目上焦点面の上方または下方にあるフォトレジストが露出される光の強度の変化が大幅に緩和される。これにより、ウェハ上に形成される線幅の変化が低減する。

【0108】

【発明の効果】

以上の説明により、ゼロ次漏れがフォトレジストを露光させる光の強度のばらつきを引き起こすことを防ぐための位相シフトマスク撮像性能を向上させる装置およびシステム、ならびにその方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、例示的なフォトリソグラフィシステム100を示すブロック図である。

【図2A】図2Aは、面R118の第1の透過部分202および第2の透過部分204を通過した後の光108の干渉の関数から、どのように回折パターンが得られるかを示す図である。

【図2B】図2Bは、面R118の第1の透過部分202および第2の透過部分204を通過した後の光108の干渉の関数から、どのように回折パターンが得られるかを示す図である。

【図3A】図3Aは、幅が d_1 である場合の第1の透過部分202の回折パターンに対する寄与を示す図である。

【図3B】図3Bは、幅が d_1 である場合の第1の透過部分202の回折パターンに対する寄与を示す図である。

【図4】図4は、幅が「 d_2 」(ここで、 $d_2 < d_1$)である場合の第1の透過部分202の回折パターンに対する寄与を示す図である。

【図5A】図5Aは、ウェハ114上の面W120におけるポイントA122およびB124における回折パターンを示す図である。

【図5B】図5Bは、ウェハ114上の面W120におけるポイントA122およびB124における回折パターンを示す図である。

【図6】図6は、レチクル112が交番位相シフトマスク600として実現される場合の回折パターンがどのように変化したかを示す図である。

【図7】図7は、交番位相シフトマスク600として実現されたレチクル112を示す図である。

【図8】図8は、幅が d_2 である場合の位相シフト透過部分602の回折パターンに対する寄与を示す図である。

【図9】図9は、第1の透過部分202および位相シフト透過部分602の各々が、幅 d_2 であり、間隔 s_3 分、隔てられている場合における、ウェハ114上の面W120におけるポイントA122およびB124における回折パターンを示す図である。

【図10】図10は、位相シフト透過部分602から発せられる光108の一部として生成されたトポグラフィ効果を示す図である。

【図11】図11は、交番位相シフトマスク600として実現されるレチクル112からの負の1/2次の光、正の1/2次の光、およびゼロ次漏れの光の経路を示す図である。

【図12】図12は、異なる面においてウェハ114に入射する、負の1/2次の光、正の1/2次の光、およびゼロ次漏れの光の経路を示す図である。

10

20

30

40

50

【図13A】図13Aは、負の1/2次の光、正の1/2次の光、およびゼロ次漏れの光の経路が異なる平面においてウェハ114に入射する場合の回折パターンを示す図である。

【図13B】図13Bは、負の1/2次の光、正の1/2次の光、およびゼロ次漏れの光の経路が異なる平面においてウェハ114に入射する場合の回折パターンを示す図である。

【図13C】図13Cは、負の1/2次の光、正の1/2次の光、およびゼロ次漏れの光の経路が異なる平面においてウェハ114に入射する場合の回折パターンを示す図である。

【図14A】図14Aは、ゼロ次漏れがプリントされたラインおよびスペースに及ぼす有害な影響を示す走査電子顕微鏡の映像の図である。 10

【図14B】図14Bは、ゼロ次漏れがプリントされたラインおよびスペースに及ぼす有害な影響を示す走査電子顕微鏡の映像の図である。

【図14C】図14Cは、ゼロ次漏れがプリントされたラインおよびスペースに及ぼす有害な影響を示す走査電子顕微鏡の映像の図である。

【図15】図15は、本発明によるフォトリソグラフィシステム1500を示すプロック図である。

【図16】図16は、本発明による遮光アパチャ1600の図である。

【図17】図17は、第2の物体1702および第3の物体1704と、瞳孔面116における光108の位相誤差部分において第2および第3の物体1702および1704を支持する手段とを含む遮光アパチャ1700を示す図である。 20

【図18】図18は、フォトリソグラフィシステムにおいて撮像性能を向上させる方法1800のフローチャートである。

【図19】図19は、フォトリソグラフィシステムにおいて撮像性能を向上させる方法1900のフローチャートである。

【符号の説明】

100 フォトリソグラフィシステム

102 照射源

104 第1の調整レンズ

106 第2の調整レンズ

108 光

110 光軸

112 レチクル

114 ウェハ

116 瞳孔面

118 面R

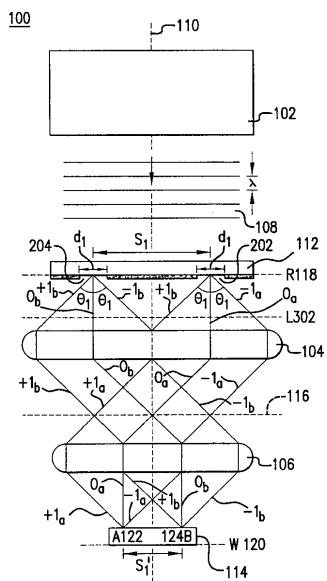
120 面W

10

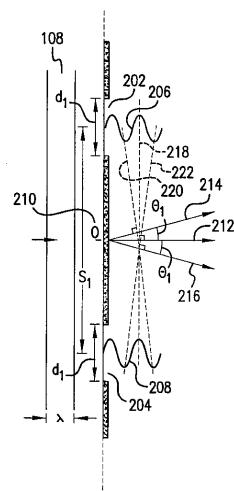
20

30

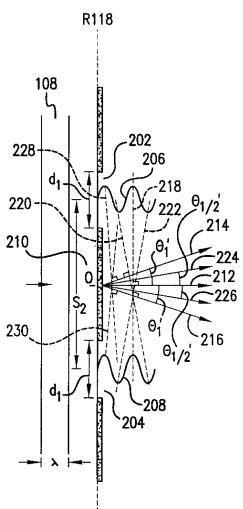
【 図 1 】



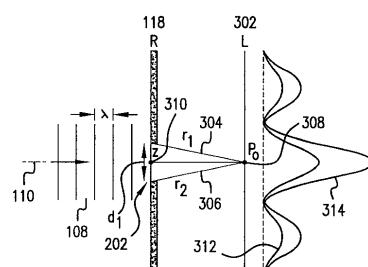
【 図 2 A 】



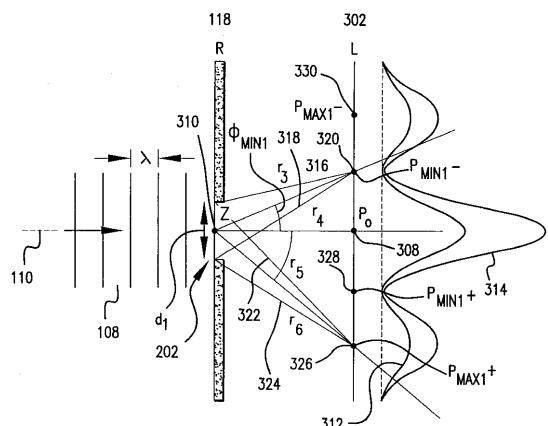
【図2B】



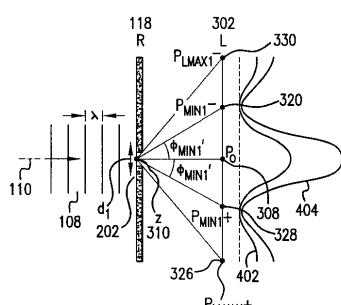
【 図 3 A 】



【図3B】

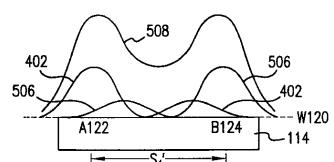


【図4】

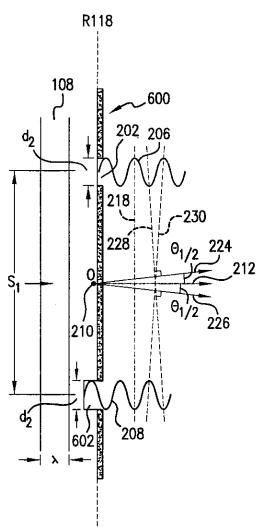


【図 5 A】

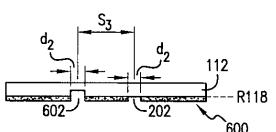
【図 5 B】



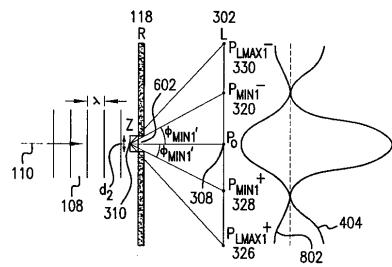
【図6】



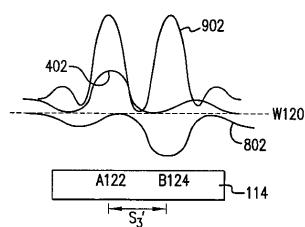
【図7】



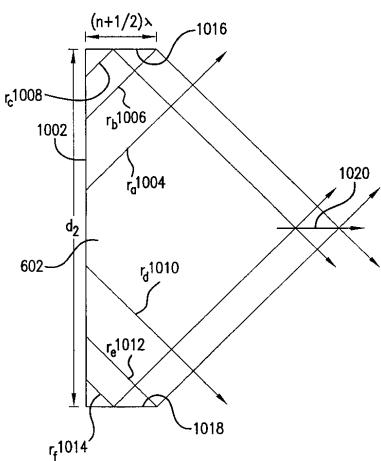
【 図 8 】



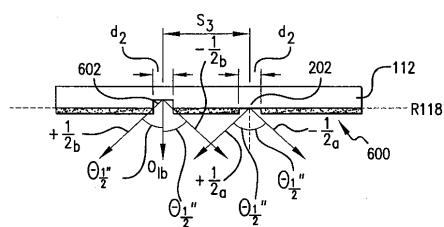
【図9】



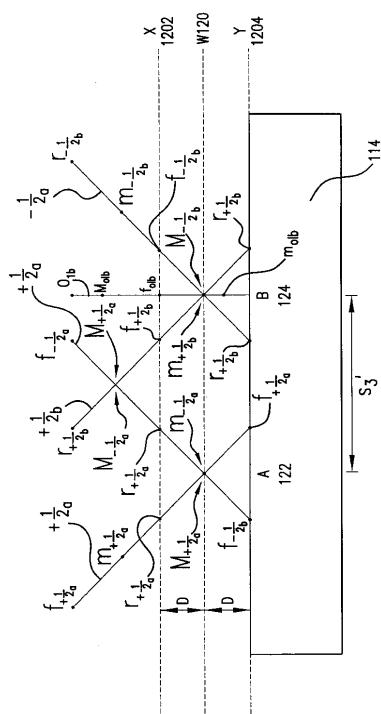
【 図 1 0 】



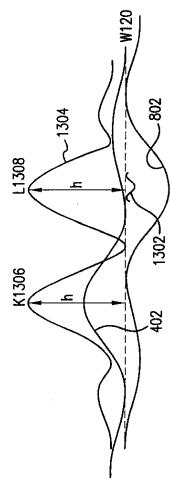
【 図 1 1 】



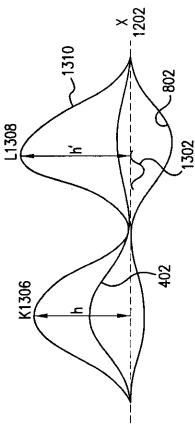
【 図 1 2 】



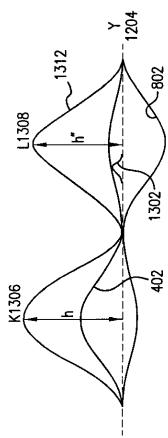
【図 1 3 A】



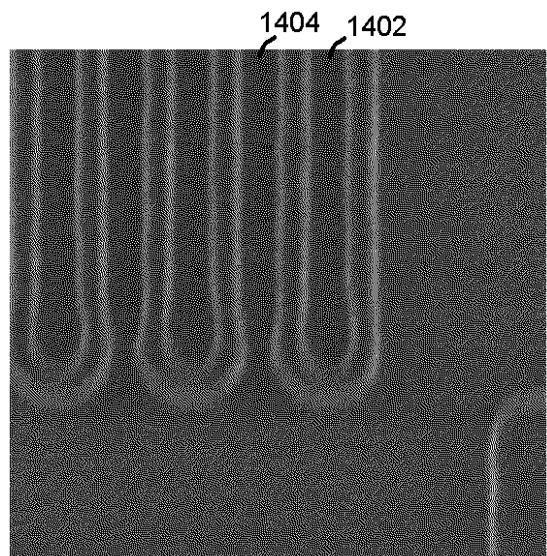
【図 1 3 B】



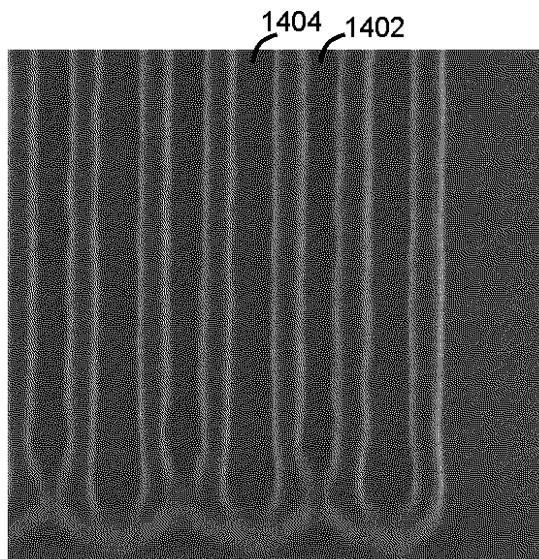
【図 1 3 C】



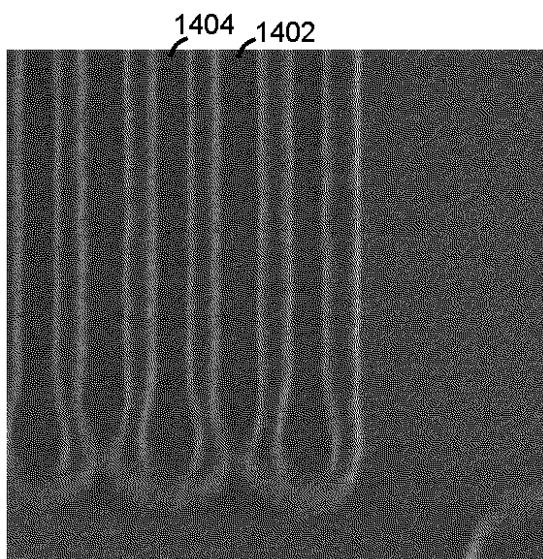
【図 1 4 A】



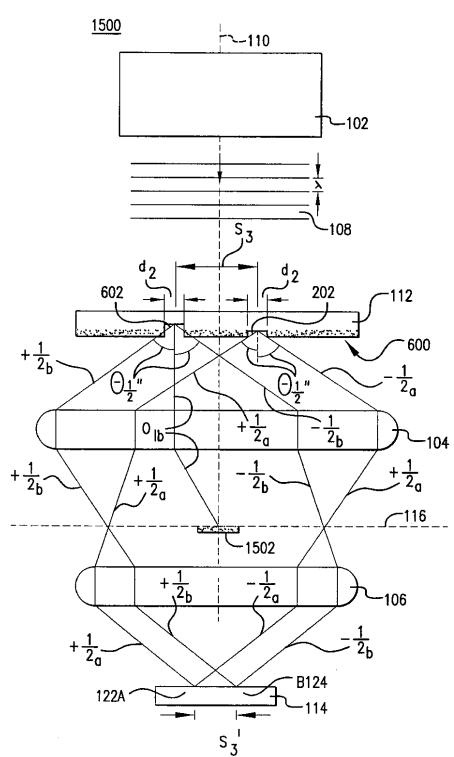
【図14B】



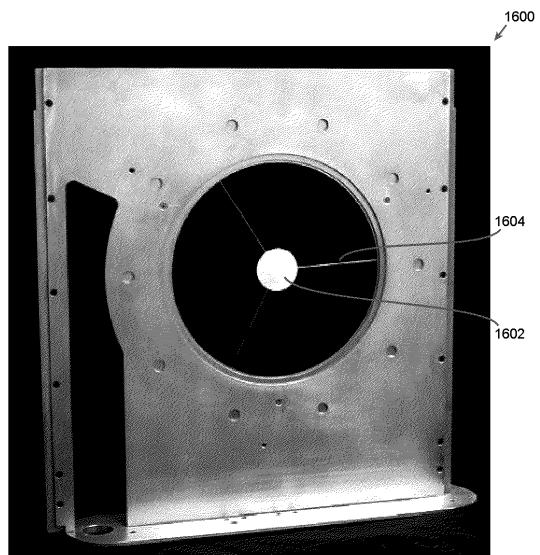
【図14C】



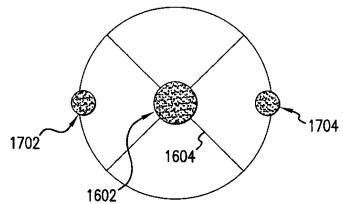
【図15】



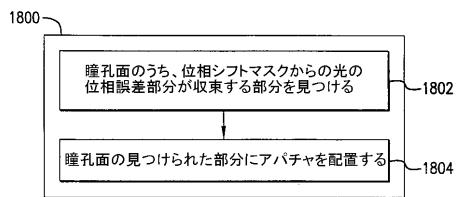
【図16】



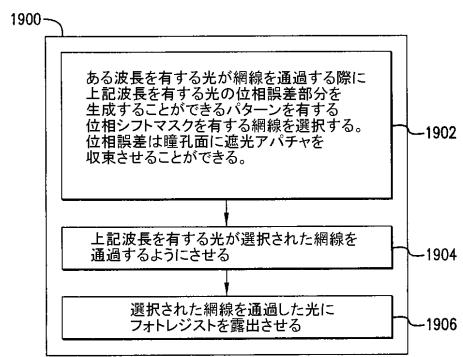
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

審査官 植木 隆和

(56)参考文献 特開平10-115932(JP, A)

特開平10-239018(JP, A)

特開昭61-264727(JP, A)

特開平05-259025(JP, A)

特開2001-085298(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

G03F 7/20