

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3881865号
(P3881865)

(45) 発行日 平成19年2月14日(2007.2.14)

(24) 登録日 平成18年11月17日(2006.11.17)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 1 5 D

G O 3 F 7/20 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 1 5 A

G O 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 14 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2001-322598 (P2001-322598)
 (22) 出願日 平成13年10月19日(2001.10.19)
 (65) 公開番号 特開2003-133201 (P2003-133201A)
 (43) 公開日 平成15年5月9日(2003.5.9)
 審査請求日 平成16年10月7日(2004.10.7)

(73) 特許権者 501286657
 株式会社 液晶先端技術開発センター
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地
 (74) 代理人 100070024
 弁理士 松永 宣行
 (72) 発明者 谷口 幸夫
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地
 株式会社液晶先端技術開発センター内
 審査官 星野 浩一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学的な記録装置及び方法並びに露光装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源からの光を、位相シフトマスクに準じる波面を形成するために振幅変調された光と位相変調された光とを含む変調光に変換する光変換手段と、前記変調光を被露光物面に結像させる結像手段とを含み、

前記光変換手段は、前記光源から導かれた光の少なくとも1部を振幅変調又は位相変調する第1の空間光変調器であって前記振幅変調量又は位相変調量を制御可能な第1の空間光変調器と、前記第1の空間光変調器で変調された光を結像させる第1の結像光学系と、前記第1の結像光学系の結像位置に設けられ前記第1の結像光学系により結像された光の少なくとも1部を位相変調又は振幅変調する第2の空間光変調器であって前記位相変調量又は振幅変調量を制御可能な第2の空間光変調器とを含み、前記結像手段は、前記第2の空間光変調器で変調された光を前記被露光物面に結像させる第2の結像光学系を含む、光学的な記録装置。

【請求項2】

光源からの光を、位相シフトマスクに準じる波面を形成するために振幅変調された光と位相変調された光とを含む変調光に変換する光変換手段と、前記変調光を被露光物面に結像させる結像手段とを含み、

前記光変換手段は、前記光源から導かれた光を第1の光と第2の光とに分離する光分離手段と、前記第1の光の少なくとも1部を振幅変調する第1の空間光変調器であって前記振幅変調量を制御可能な第1の空間光変調器と、前記第2の光の少なくとも1部を位相変

10

20

調する第2の空間光変調器であって前記位相変調量を制御可能な第2の空間光変調器と、前記第1の空間光変調器で変調された光と前記第2の空間光変調器で変調された光とを合成する光合成手段とを含み、

前記結像手段は、前記合成された光を前記被露光物面に結像させる結像光学系を含む、光学的な記録装置。

【請求項3】

前記振幅変調する空間光変調器は、偏光板と液晶空間光変調素子とを含む、請求項1又は2に記載の光学的な記録装置。

【請求項4】

前記位相変調する空間光変調器は、液晶空間光変調素子を含む、請求項1又は2に記載の光学的な記録装置。 10

【請求項5】

前記被露光物面に結像させる結像光学系は、縮小光学系である、請求項1又は2に記載に光学的な記録装置。

【請求項6】

光源からの光を、位相シフトマスクに準じる波面を形成するために振幅変調された光と位相変調された光とを含む変調光に光変換するステップと、前記変調光を被露光物面に結像させるステップとを含み、

前記光変換するステップは、前記光源からの光を該光の少なくとも1部を振幅変調又は位相変調する第1の空間光変調器であって前記振幅変調量又は位相変調量を制御可能な第1の空間光変調器によって振幅変調量又は位相変調量を制御する振幅変調量制御ステップ又は位相変調量制御ステップと、前記第1の空間光変調器で変調された光を第1の結像光学系により結像させるステップと、前記第1の結像光学系により結像された光を該光の少なくとも1部を位相変調又は振幅変調する第2の空間光変調器であって前記位相変調量又は振幅変調量を制御可能な第2の空間光変調器によって位相変調量又は振幅変調量を制御する位相変調量制御ステップ又は振幅変調量制御ステップとを含み、 20

前記結像させるステップは、前記第2の空間光変調器で変調された光を前記被露光物面に結像させるステップを含む、光学的な記録方法。

【請求項7】

光源からの光を、位相シフトマスクに準じる波面を形成するために振幅変調された光と位相変調された光とを含む変調光に光変換するステップと、前記変調光を被露光物面に結像させるステップとを含み、 30

前記光変換するステップは、前記光源からの光を光分離手段により第1の光と第2の光とに分離するステップと、前記第1の光の少なくとも1部を振幅変調する第1の空間光変調器であって前記振幅変調量を制御可能な第1の空間光変調器によって振幅変調量を制御する振幅変調量制御ステップと、前記第2の光の少なくとも1部を位相変調する第2の空間光変調器であって前記位相変調量を制御可能な第2の空間光変調器によって位相変調量を制御する位相変調量制御ステップと、前記第1の空間光変調器で変調された光と前記第2の空間光変調器で変調された光とを光合成手段により合成するステップとを含み、

前記結像させるステップは、前記合成された光を前記被露光物面に結像させるステップを含む、光学的な記録方法。 40

【請求項8】

前記光変換により形成される露光パターンと前記被露光物面が露光される箇所とを変えながら連続的又は間欠的に走査しながら前記被露光物面に前記変調光を結像させることにより最終の露光パターンを形成する、請求項6に記載の方法。

【請求項9】

光源からの光を、位相シフトマスクに準じる波面を形成するために振幅変調された光と位相変調された光とを含む変調光に光変換するステップと、前記変調光を被露光物面に結像させるステップとを含み、

前記光変換するステップは、前記光源からの光の振幅変調量又は位相変調量を制御可能 50

な第1の空間光変調器によって振幅変調量又は位相変調量を制御する振幅変調量制御ステップ又は位相変調量制御ステップと、前記光源からの光の位相変調量又は振幅変調量を制御可能な第2の空間光変調器によって位相変調量又は振幅変調量を制御する位相変調量制御ステップ又は振幅変調量制御ステップとを含み、

前記光変換により形成される露光パターンと前記被露光物面が露光される箇所とを変えながら連続的又は間欠的に走査しながら前記被露光物面に前記変調光を結像させることにより最終の露光パターンを形成する、光学的な記録方法。

【請求項10】

光源からの光を、位相シフトマスクに準じる波面を形成するために振幅変調された光と位相変調された光とを含む変調光に変換する光変換手段と、前記変調光を被露光物面に結像させる結像手段とを含み、

10

前記光変換手段は、前記光源から導かれた光の少なくとも1部を振幅変調又は位相変調する第1の空間光変調器であって前記振幅変調量又は位相変調量を制御可能な第1の空間光変調器と、前記第1の空間光変調器で変調された光を結像させる第1の結像光学系と、前記第1の結像光学系に設けられ前記第1の結像光学系により結像された光の少なくとも1部を位相変調又は振幅変調する第2の空間光変調器であって前記位相変調量又は振幅変調量を制御可能な第2の空間光変調器とを含み、前記結像手段は、前記第2の空間光変調器で変調された光を前記被露光物面に結像させる第2の結像光学系を含む、露光装置。

【請求項11】

光源からの光を、位相シフトマスクに準じる波面を形成するために振幅変調された光と位相変調された光とを含む変調光に変換する光変換手段と、前記変調光を被露光物面に結像させる結像手段とを含み、

20

前記光変換手段は、前記光源から導かれた光を第1の光と第2の光とに分離する光分離手段と、前記第1の光の少なくとも1部を振幅変調する第1の空間光変調器であって前記振幅変調量を制御可能な第1の空間光変調器と、前記第2の光の少なくとも1部を位相変調する第2の空間光変調器であって前記位相変調量を制御可能な第2の空間光変調器と、前記第1の空間光変調器で変調された光と前記第2の空間光変調器で変調された光とを合成する光合成手段とを含み、

前記結像手段は、前記合成された光を前記被露光物面に結像させる結像光学系を含む、露光装置。

30

【請求項12】

光源からの光を、位相シフトマスクに準じる波面を形成するために振幅変調された光と位相変調された光とを含む変調光に変換するステップと、前記変調光を被露光物面に結像させるステップとを含み、

前記光変換するステップは、前記光源からの光の少なくとも1部を振幅変調又は位相変調する第1の空間光変調器であって前記振幅変調量又は位相変調量を制御可能な第1の空間光変調器によって振幅変調量又は位相変調量を制御する振幅変調量制御ステップ又は位相変調量制御ステップと、前記第1の空間光変調器で変調された光を第1の結像光学系により結像させるステップと、前記第1の結像光学系の結像位置に設けられ前記第1の結像光学系により結像された光の少なくとも1部を位相変調又は振幅変調する第2の空間光変調器であって前記位相変調量又は振幅変調量を制御可能な第2の空間光変調器によって位相変調量又は振幅変調量を制御する位相変調量制御ステップ又は振幅変調量制御ステップとを含み、

40

前記結像させるステップは、前記第2の空間光変調器で変調された光を前記被露光物面に結像させるステップを含む、露光方法。

【請求項13】

光源からの光を、位相シフトマスクに準じる波面を形成するために振幅変調された光と位相変調された光とを含む変調光に変換するステップと、前記変調光を被露光物面に結像させるステップとを含み、

前記光変換するステップは、前記光源からの光を光分離手段により第1の光と第2の光

50

とに分離するステップと、前記第 1 の光の少なくとも 1 部を振幅変調する第 1 の空間光変調器であって該第 1 の空間変調器によって振幅変調量を制御する振幅変調量制御ステップと、前記第 2 の光の少なくとも 1 部を位相変調する第 2 の空間光変調器であって該第 2 の空間変調器によって位相変調量を制御する位相変調量制御ステップと、前記第 1 の空間光変調器で変調された光と前記第 2 の空間光変調器で変調された光とを光合成手段により合成するステップとを含み、

前記結像させるステップは、前記合成された光を前記被露光物面に結像させるステップを含む、露光方法。

【請求項 14】

光源からの光を、位相シフトマスクに準じる波面を形成するために振幅変調された光と位相変調された光とを含む変調光に変換するステップと、前記変調光を被露光物面に結像させるステップとを含み、

前記光変換するステップは、前記光源からの光の振幅変調量又は位相変調量を制御可能な第 1 の空間光変調器によって振幅変調量又は位相変調量を制御する振幅変調量制御ステップ又は位相変調量制御ステップと、前記光源からの光の位相変調量又は振幅変調量を制御可能な第 2 の空間光変調器によって位相変調量又は振幅変調量を制御する位相変調量制御ステップ又は振幅変調量制御ステップとを含み、

前記光変換により形成される露光パターンと前記被露光物面が露光される箇所とを変えながら連続的又は間欠的に走査しながら前記被露光物面に前記変調光を結像させることにより最終の露光パターンを形成する、露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体集積回路や液晶表示装置等の製造において、フォトリソグラフィ工程で用いる光学的な記録装置及び記録方法並びに露光装置及び露光方法に関し、特に、露光光の波長と同程度の線幅を有する露光パターン等を形成するために好適な光学的な記録装置及び記録方法並びに露光装置及び露光方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

露光による光学的な記録装置として、レンズプロジェクションやミラープロジェクション等の投影光学系により露光パターンを被露光物面に結像させる露光装置がある。しかし、露光パターンの線幅が露光光の波長に近い場合には、光の回折限界のために該線幅が解像されなかった。これを解消するために、シフターと呼ばれる透明もしくは半透明な位相変調層がマスク基板に形成された位相シフトマスクを露光マスクとして用いて、該位相変調層で光の位相を変調することにより解像度を向上させるようにした方法がある。

【0003】

また、他の露光装置としてレーザ描画装置があり、記録すべき露光パターンに従ってレーザビームで被露光物面上を連続的又は間欠的に走査しながら被露光物を露光する。さらに光を振幅変調する空間光変調器を用いて、該空間光変調器で形成される露光パターンを被露光物に結像させるレーザ描画装置があり、振幅変調用の空間光変調器により露光パターンを複数の箇所と同時に記録できるので、単ビームで走査する場合と比べて、描画の高速化が実現できる利点を有する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、位相シフトマスクは、位相変調層を高精度の厚みでマスク基板に形成する必要があり、また、位相変調層とパターンニングされたクロム膜等の振幅変調層とを組み合わせる場合には、位相変調層と振幅変調層とを高精度に重ね合わせる必要があるため、通常の露光マスクより製造が難しく、製造費用の増加となった。また、位相シフトマスクを各パターン毎に製造する必要があった。

【0005】

10

20

30

40

50

また、振幅変調用の空間光変調器を用いるレーザ描画装置は、高速度での描画ができる反面、解像度の点で位相シフトマスクを用いる装置より劣っていた。

【0006】

本発明の目的は、露光パターンの線幅が露光光の波長に近い場合であっても所定の解像度が得られかつ露光に要する時間が低減する、光学的な記録装置及び方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決する解決手段、作用及び効果】

本発明に係る光学的な記録装置は、光源からの光を、振幅変調された光と位相変調された光とを含む変調光に変換する光変換手段と、前記変調光を被露光物面に結像させる結像手段とを含む。

10

【0008】

本発明に係る光学的な記録方法は、光源からの光を、振幅変調された光と位相変調された光とを含む変調光に変換するステップと、前記変調光を被露光物面に結像させるステップとを含む。

【0009】

そのような記録装置及び方法においては、振幅変調された光と位相変調された光とを含む変調光が被露光物面に結像される。したがって、露光による露光パターンの被露光物への記録において振幅変調と位相変調とを同時に行うことができ、位相シフトマスクと同様の高解像度と露光時間の短縮とが容易に実現される。位相及び振幅の変調は、変調量の制御が容易なため、最適な変調量に容易に設定することができる。また、従来のような露光パターンの変更のたびの露光マスク交換の必要性が根本的にない。

20

【0010】

前記光変換手段は、好ましくは、前記光源から導かれた光の少なくとも1部を振幅変調する第1の空間光変調器と、前記第1の空間光変調器で変調された光を結像させる第1の結像光学系と、前記第1の結像光学系により結像された光の少なくとも1部を位相変調する第2の空間光変調器とを含み、前記結像手段は、前記第2の空間光変調器で変調された光を前記被露光物面に結像させる第2の結像光学系を含むことができる。

【0011】

前記光変換手段は、前記光源から導かれた光の少なくとも1部を位相変調する第1の空間光変調器と、前記第1の空間光変調器で変調された光を結像させる第1の結像光学系と、前記第1の結像光学系により結像された光の少なくとも1部を振幅変調する第2の空間光変調器とを含み、前記結像手段は、前記第2の空間光変調器で変調された光を前記被露光物面に結像させる第2の結像光学系を含んでいてもよい。

30

【0012】

前記光変換手段は、前記光源から導かれた光を第1の光と第2の光とに分離する光分離手段と、前記第1の光の少なくとも1部を振幅変調する第1の空間光変調器と、前記第2の光の少なくとも1部を位相変調する第2の空間光変調器と、前記第1の空間光変調器で変調された光と前記第2の空間光変調器で変調された光とを合成する光合成手段とを含み、前記結像手段は、前記合成された光を前記被露光物面に結像させる結像光学系を含んでいてもよい。

40

【0013】

前記振幅変調する空間光変調器は、好ましくは、偏光板と液晶空間光変調素子とを含むことができる。また、前記位相変調する空間光変調器は、好ましくは、液晶空間光変調素子を含むことができる。

【0014】

前記被露光物面に結像させる結像光学系は、好ましくは、縮小光学系とすることができる。

【0015】

前記変換するステップは、好ましくは、前記光源からの光を該光の少なくとも1部を振幅

50

変調する第 1 の空間光変調器に入射させるステップと、前記第 1 の空間光変調器で変調された光を第 1 の結像光学系により結像させるステップと、前記第 1 の結像光学系により結像された光を該光の少なくとも 1 部を位相変調する第 2 の空間光変調器に入射させるステップとを含み、前記結像させるステップは、前記第 2 の空間光変調器で変調された光を前記被露光物面に結像させるステップを含むことができる。

【0016】

前記変換するステップは、前記光源からの光を該光の少なくとも 1 部を位相変調する第 1 の空間光変調器に入射させるステップと、前記第 1 の空間光変調器で変調された光を第 1 の結像光学系により結像させるステップと、前記第 1 の結像光学系により結像された光を該光の少なくとも 1 部を振幅変調する第 2 の空間光変調器に入射させるステップとを含み、前記結像させるステップは、前記第 2 の空間光変調器で変調された光を前記被露光物面に結像させるステップを含んでいてもよい。

10

【0017】

前記変換するステップは、前記光源からの光を光分離手段により第 1 の光と第 2 の光とに分離するステップと、前記第 1 の光を該光の少なくとも 1 部を振幅変調する第 1 の空間光変調器に入射させるステップと、前記第 2 の光を該光の少なくとも 1 部を位相変調する第 2 の空間光変調器に入射させるステップと、前記第 1 の空間光変調器で変調された光と前記第 2 の空間光変調器で変調された光とを光合成手段により合成するステップとを含み、前記結像させるステップは、前記合成された光を前記被露光物面に結像させるステップを含んでいてもよい。

20

【0018】

本発明に係る記録方法においては、前記光変換により形成される露光パターンと前記被露光物面が露光される箇所とを変えながら連続的又は間欠的に走査しながら前記被露光物面に前記変調光を結像させることにより最終の露光パターンを形成することができる。

【0019】

【発明の実施の形態】

まず、振幅変調用の空間光変調器と位相変調用の空間光変調器とを光学的に直列に結合する積算型の光学的な記憶装置及び方法について説明する。

【0020】

図 1 を参照するに、光学的な記録装置 10 は、図示しない光源から導かれた光 12 の少なくとも 1 部を振幅変調する空間光変調器（以下「SLM」という。）14 と、空間光変調器 14 を透過した光 16 を結像させる結像レンズ 18 と、結像レンズ 18 により結像された光 20 の少なくとも 1 部を位相変調する空間光変調器 22 と、空間光変調器 22 を透過した光 24 を被露光物 26 の面 28 に結像させる結像レンズ 30 とを含む。

30

【0021】

露光用の光源として、通常の投影露光装置と同様に、超高圧水銀灯の i 線や g 線又は各種のレーザ光を用いることができる。

【0022】

各 SLM 14、22 は、1 画素に対応する基本素子を複数配列した液晶素子を含み、半導体集積回路や液晶表示パネルの製造技術を用いて製造されている。

40

【0023】

SLM 14 と SLM 22 とは、記録装置 10 において、図示しない支持装置によって、光学的に直列に、かつ光学的に互いに共役な位置になるように支持されている。SLM 14 と SLM 22 の対応する画素同士の間での光路長すなわち位相差は、各画素の近傍において大きく変化しないようにする必要がある。この条件は、結像レンズ 18 の収差を無視することができる場合、SLM 14 と SLM 22 との光軸方向の位置ずれを各画素の近傍において露光光の波長と比べて十分に小さく抑えれば、達成できる。

【0024】

SLM 14 での複素振幅透過率を $T_1(x, y)$ 、SLM 22 での複素振幅透過率を $T_2(x, y)$ とすると、被露光物 26 の面 28 での複素振幅 $E(x, y)$ は、以下の式 (1)

50

)になる。

【0025】

【数1】

$E(x, y)$

$=T_1(x, y) T_2(x, y)$

$=A_1(x, y) A_2(x, y) \exp(iP_1(x, y) + iP_2(x, y))$

)

$\equiv A(x, y) \exp(iP(x, y)) \cdots (1)$

10

【0026】

ここで、 $T_1(x, y)$ 、 $T_2(x, y)$ は、以下の式(2)、(3)で定義される。

【0027】

【数2】

$T_1(x, y) = A_1(x, y) \exp(iP_1(x, y)) \cdots (2)$

【0028】

【数3】

$T_2(x, y) = A_2(x, y) \exp(iP_2(x, y)) \cdots (3)$

【0029】

20

上式(1)、(2)及び(3)に基づいて、上記の振幅 $A(x, y)$ 及び位相 $P(x, y)$ が被露光物26の面28での最終的な振幅 $A(x, y)$ 及び位相 $P(x, y)$ となるように、液晶素子への印加電圧で振幅変調(光の透過率)及び位相変調(位相0～位相2)を制御する。

【0030】

振幅変調用SLM14が位相変調作用を有していたり、位相変調用SLM22が振幅変調作用を有していたりする場合においても、前記の式(1)により最終的な振幅 $A(x, y)$ 及び位相 $P(x, y)$ が理想値に近くなるように、 $T_1(x, y)$ 、 $T_2(x, y)$ の値を選択すればよい。

【0031】

30

結像レンズ30は、等倍光学系レンズ及び縮小光学系レンズのいずれをも採用することができる。ただし、一般に、SLMの画素サイズは数 μm 以上と大きく、いわゆるサブミクロンオーダの解像度を得るには、好ましくは、縮小光学系を用いる。図1において、説明を簡単にするために、結像レンズ18、30をそれぞれ1つのレンズとして示したが、さらに良好な結像性能を得るためには、複数のレンズを用いてそれらを組み合わせることが望ましい。

【0032】

図1において、振幅変調用のSLMを光源側に、位相変調用のSLMを被露光物側に配置した場合で説明したが、位相変調用のSLMを光源側に、振幅変調用のSLMを被露光物側に配置した場合であっても上記と同様である。また、液晶素子を含まない空間光変調器を用いることもできる。

40

【0033】

次に、振幅変調用の空間光変調器と位相変調用の空間光変調器とを光学的に並列に結合する加算型の光学的な記憶装置及び方法について説明する。

【0034】

図2を参照するに、光学的な記録装置32は、光源34から照明レンズ38を経た光40を光42と光44とに分離する光分離器46と、光42の少なくとも1部を振幅変調するSLM48と、光44の少なくとも1部を位相変調するSLM50と、SLM48を透過した光52とSLM50を透過した光54とを合成する光合成器56と、合成された光58を被露光物26の面28に結像させる結像レンズ60とを含む。

50

【 0 0 3 5 】

また、光分離器 4 6 からの光 4 2 を反射して S L M 4 8 へ導くミラー 6 2 と、光分離器 4 6 からの光 4 4 を反射して S L M 5 0 へ導くミラー 6 4 とが設けられている。

【 0 0 3 6 】

露光用の光源として、通常のステッパーと同様に、超高圧水銀灯の i 線や g 線又は A r F レーザ（波長 = 2 4 8 m m ）や K r F レーザ（波長 = 1 9 3 m m ）等のレーザ光を用いることができる。

【 0 0 3 7 】

各 S L M 4 8 、 5 0 は、1 画素に対応する基本素子を複数配列した液晶素子を含み、半導体集積回路や液晶表示パネルの製造技術を用いて製造されている。

10

【 0 0 3 8 】

S L M 4 8 と S L M 5 0 とは、記録装置 3 2 において、図示しない支持装置によって、光学的に並列に、かつ結像光学系すなわち結像レンズ 6 0 から見て重なり合う位置になるように支持されている。S L M 1 4 と S L M 2 2 との光軸方向の位置ずれは、それに対応して位相差すなわち $P_1(x, y)$ と $P_2(x, y)$ との差として生じるので、積算型の光学系と比べてより高精度に位置合わせが行われている。

【 0 0 3 9 】

光分離器 4 6 及び光合成器 5 6 は、ハーフミラー型の光学要素が用いられている。光の合成においては、S L M 4 8 を透過した光と S L M 5 0 を透過した光とを光合成器 5 6 により干渉させている。偏光方向は同一である必要があるので、偏光ビームスプリッタを用い

20

【 0 0 4 0 】

S L M 4 8 での複素振幅透過率を $T_1(x, y)$ 、S L M 5 0 での複素振幅透過率を $T_2(x, y)$ とすると、被露光物 2 6 の面 2 8 での複素振幅 $E(x, y)$ は、以下の式 (4) になる。

【 0 0 4 1 】

【 数 4 】

$$E(x, y)$$

$$= T_1(x, y) + T_2(x, y)$$

30

$$= A_1(x, y) \exp(i P_1(x, y)) + A_2(x, y) \exp(i P_2(x, y))$$

$$\equiv A(x, y) \exp(i P(x, y)) \cdots (4)$$

【 0 0 4 2 】

ここで、 $T_1(x, y)$ 、 $T_2(x, y)$ は、以下の式 (5)、(6) で定義される。

【 0 0 4 3 】

【 数 5 】

$$T_1(x, y) = A_1(x, y) \exp(i P_1(x, y)) \cdots (5)$$

40

【 0 0 4 4 】

【 数 6 】

$$T_2(x, y) = A_2(x, y) \exp(i P_2(x, y)) \cdots (6)$$

【 0 0 4 5 】

上式 (4)、(5) 及び (6) に基づいて、上記の振幅 $A(x, y)$ 及び位相 $P(x, y)$ が被露光物 2 6 の面 2 8 での最終的な振幅 $A(x, y)$ 及び位相 $P(x, y)$ となるように、液晶素子への印加電圧で振幅変調（光の透過率）及び位相変調（位相 0 ~ 位相 2 π ）を制御する。

【 0 0 4 6 】

振幅変調用 S L M 4 8 が位相変調作用を有していたり、位相変調用 S L M 5 0 が振幅変調

50

作用を有していたりする場合においても、前記の式(4)により最終的な振幅 $A(x, y)$ 及び位相 $P(x, y)$ が理想値に近くなるように、 $T_1(x, y)$ 、 $T_2(x, y)$ の値を選択すればよい。

【0047】

振幅変調及び位相変調の量は任意の値をとりうるが、典型的な方法としては、振幅変調では、光の透過(以下「OFF」という。)、非透過(以下「ON」という。))及び半透過のいずれかに制御される。また、位相変調では、位相が同相である(以下「位相0」又は「OFF」という。))及び位相が だけずれる(以下「位相 」又は「ON」という。))のいずれかに制御される。

【0048】

したがって、変調が行われる基本単位となる各液晶素子の画素に対して、少なくとも「非透過」、「半透過かつ位相 」、「透過かつ位相0」及び「透過かつ位相 」の4種類の場合が選択可能である。これらを組み合わせて任意の位相シフトマスクに準じる波面を形成することができる。ここで、「非透過」、「透過かつ位相0」及び「透過かつ位相 」はレベンソン型の位相シフトマスクに相当し、「半透過かつ位相 」及び「透過かつ位相0」はハーフトーン型の位相シフトマスクに相当する。

【0049】

図2においては、簡単にするために、2つのSLM48、50を透過した光を結合し、被露光物面に光を結像させるレンズ60を1つとして示したが、収差をなくするために複数のレンズを用いてもよい。また、両テレセントリックかつアフォーカル光学系にすれば、焦点がはずれても、露光パターンの寸法精度は保たれ、かつ均一な露光強度が得られる利点を有する。

【0050】

また、照明光学系として、ケーラー照明光学系やフライアイ(魚眼)レンズ等を用いるならば、均一な照度が得られ、全面で照明主光線をSLMの光入射面に対して垂直にすることができるので望ましい。特に、SLMとして液晶素子を用いた場合、液晶素子は入射角度により特性が大きく変わるので垂直照明が特に望ましい。空間光変調器として透過型の液晶素子を用いる場合で説明したが、それ以外の素子、例えば反射型の液晶素子やマイクロミラーデバイス等を用いることができる。また、液晶素子を含まない空間光変調器を用いることもできる。

【0051】

図3は積算型の光学系をより具体的に示すものである。記録装置66は、光源68と、光源68からの光70を反射するミラー72と、照明レンズ74、76を含む照明光学系78と、偏光板80、82及び液晶素子84を含む空間光変調器86と、等倍レンズ88、90及び絞り板92を含む等倍光学系94と、液晶素子96を含む空間光変調器98と、等倍レンズ100、絞り板102及び縮小レンズ104を含む縮小光学系106とを含む。

【0052】

光源として、Arレーザ(364nm)を用いた。このレーザをビームエキスパンダーで直径約50nmの平行光に拡大した。

【0053】

空間光変調器86は、入射した光を振幅変調する空間光変調器であり、透過性のTN配向型の液晶素子84の両面に2つの偏光板80、82を互いに偏光軸を直交させて配置している。この空間光変調器は、ノーマリホワイト型と呼ばれ、液晶素子84への印加電圧信号がONのときに非透過性を示す空間光変調器である。

【0054】

液晶素子84は、大きさが対角1.2インチ、画素数1024×768、画素サイズ25μm角のものを用いた。この液晶素子は、印加電圧信号がON/OFFのときに係る位相差が0になるように、液晶の厚さを3.1μmとして製造した。

【0055】

10

20

30

40

50

ただし、位相差を完全に 0 におさえることは難しく、いくらかの位相差は発生してしまう。後述するように、この位相差は、位相変調用の空間光変調器によって補正する。

【 0 0 5 6 】

空間光変調器 9 8 は、入射した光を位相変調する空間光変調器であり、液晶素子 9 6 としてホモジニアス配向型の液晶素子を用いた。異方屈折率を有する液晶が電界により方向を変えることにより特定の偏光方向の光に対して屈折率が変化し、したがって、一定厚の液晶を透過した後の位相が変化するのが位相変調の原理である。

【 0 0 5 7 】

液晶素子 9 6 は、液晶の屈折率異方性 n を 0 . 0 8 、厚さを 3 . 1 μm として製造した。印加電圧信号の ON / OFF 間で完全にダイレクタが 9 0 度変化すると仮定したときの位相変調は、以下の式 (7) になり、この条件で任意の位相量を設定することができる。

【 0 0 5 8 】

【 数 7 】

(最大位相変調)

$$= 2\pi \times (\text{屈折率異方性 } \Delta n) \times (\text{液晶の厚さ}) / (\text{波長} / \text{屈折率})$$

$$= 2\pi \times 0.08 \times 3.1 \mu\text{m} / (0.364 \mu\text{m} / 1.5)$$

$$= 2\pi \cdots (7)$$

【 0 0 5 9 】

位相変調用の空間光変調器 9 8 は、偏光板を用いず、液晶の配向をホモジニアス配向とした。また、液晶の厚さを 3 . 1 μm として製造した。印加電圧信号が ON のときに完全に垂直配向させた場合の位相差は 2 となる。予め、印加電圧と位相変調量との関係を求めて、印加電圧の ON / OFF の制御を行った。

【 0 0 6 0 】

結像光学系として、縮小率が 1 0 0 分の 1、開口数 (NA) が 0 . 1 8 のアフォーカルかつテレセントリックの光学系を用いた。被露光物面での画素サイズは 0 . 2 5 μm 角となった。

【 0 0 6 1 】

露光により記録すべき露光パターンとして渋谷レベンソン型の 1 . 0 μm のラインアンドスペース (以下「 L アンド S 」という。) テストパターンを用いて被露光物を露光した。比較用の露光パターンとして振幅変調のみの 1 . 0 μm の L アンド S テストパターンを用いて被露光物を露光した。各パターンを図 4 に示す。単位四角形が S L M の 1 つの画素を表す。寸法は結像面での値である。

【 0 0 6 2 】

振幅変調で「 OFF 」は光の透過、「 ON 」は非透過を示す。位相変調で「 OFF 」は位相が同相 (位相 0) である、「 ON 」は位相が だけずれている (位相) ことを示す。振幅が非透過である部分の位相変調は ON 及び OFF のいずれでもよい。位相 の「 ON 」は位相変調が になるような電圧を印加したことを示す。位相 0 と位相 の ON 及び OFF の位置はこの逆であってもよい。

【 0 0 6 3 】

被露光物の基板としてシリコンウェハを用い、該シリコンウェハに東京応化工業製のフォトレジスト THMR - i P 5 7 0 0 を 1 . 0 μm 厚に塗布した。

【 0 0 6 4 】

このフォトレジスト面を露光量 4 0 mJ / cm^2 で露光した。

【 0 0 6 5 】

露光されたフォトレジストを現像処理して、フォトレジストに形成されたパターンを観察した。比較用のテストパターン (振幅変調のみの L アンド S テストパターン) においては、解像したものの線幅にばらつきがあったが、渋谷レベンソン型の L アンド S テストパターンにおいては、均一な線幅が得られ、良好な解像が認められた。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 6 】

本発明は、上記実施例に限定されず、その趣旨を逸脱しない限り、種々変更することができる。位相シフトマスクとして、実施例では「渋谷レベンソン型」について述べたが、一般の位相シフトマスクに用いられるいかなる型をも用いることができる。例えば「補助シフター型」、「エッジ強調型」、「シフターエッジ利用型」、「多段シフター型」、「ハーフトーン型」を用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る光学的な記録装置の実施例を示す図。

【図 2】本発明に係る光学的な記録装置の他の実施例を示す図。

【図 3】本発明に係る光学的な記録装置の実施例を示す図。

10

【図 4】テストパターン及び比較用のテストパターンを示す図。

【符号の説明】

1 0、3 2、6 6 光学的な記録装置

1 4、2 2、4 8、5 0、8 6、9 8 空間光変調器

1 8、3 0、6 0 結像レンズ

2 6 被露光物

2 8 被露光物の面

3 8、7 4、7 6 照明レンズ

4 6 光分離手段

5 6 光合成手段

20

6 2、6 4、7 2 ミラー

7 8 照明光学系

8 0、8 2 偏光板

8 4、9 6 液晶素子

9 2、1 0 2 絞り板

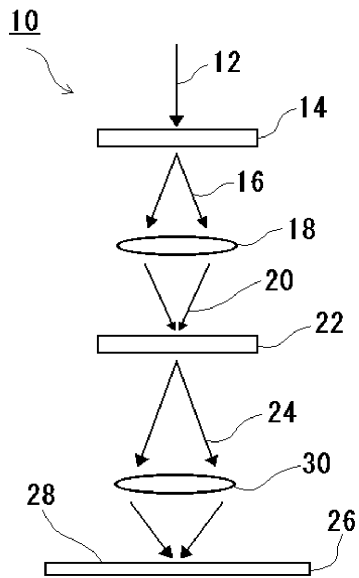
9 4 等倍光学系

8 8、9 0、1 0 0 等倍レンズ

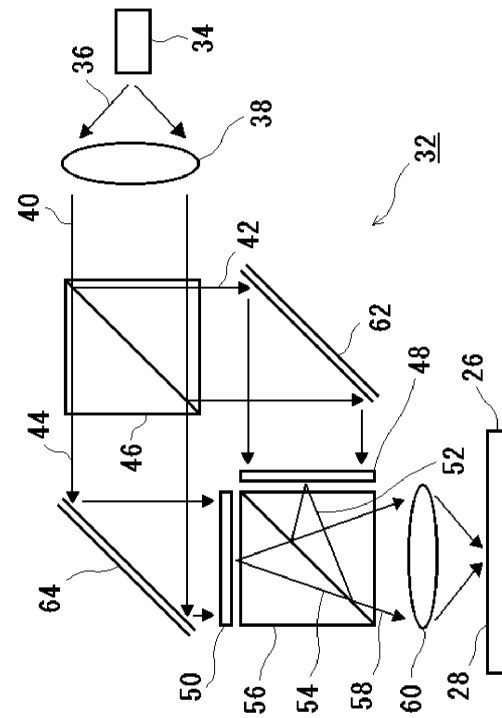
1 0 4 縮小レンズ

1 0 6 縮小光学系

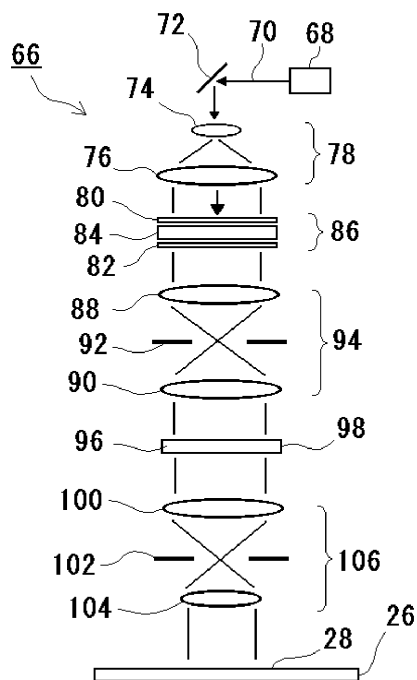
【図 1】



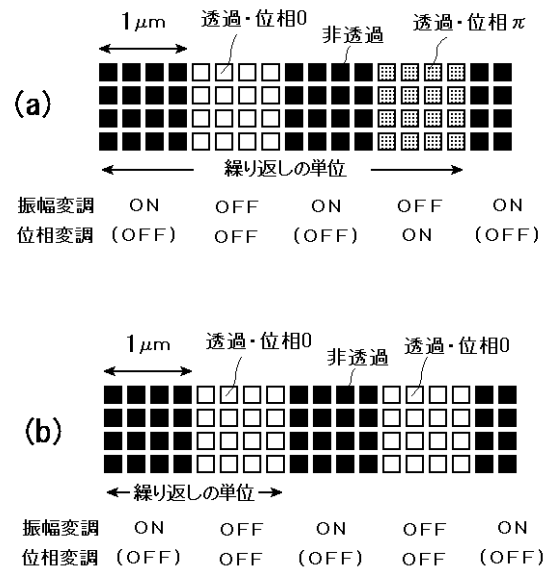
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2001-185476(JP,A)
特開2001-168003(JP,A)
特開2000-021742(JP,A)
特開平08-022939(JP,A)
特開平04-293013(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

G03F 7/20