

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

偏光放射ビームを生成するよう構成された放射源と、
結晶水晶で形成され、放射ビームを変調するよう構成された電気光学変調器と、
ビームの第 1 部分をビームダンプに向かわせ、ビームの第 2 部分から出力ビームを形成するよう構成されたビームスプリッタと、
を備えることを特徴とするシステム。

【請求項 2】

前記電気光学変調器は、ポッケルスセルを備えることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

10

【請求項 3】

前記ビームスプリッタは、偏光ビームスプリッタを備え、前記偏光ビームスプリッタは、偏光ビームの第 1 偏光方向からビームの第 1 部分を形成し、偏光ビームの第 2 偏光方向からビームの第 2 部分を形成するよう構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記電気光学変調器と前記ビームスプリッタとの間に位置された補償デバイスをさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記補償デバイスは、移動可能な結晶水晶ウェッジを備えることを特徴とする請求項 4 に記載のシステム。

20

【請求項 6】

前記補償デバイスは、前記電気光学変調器にゼロ電圧が印加されたときに、ゼロ透過または実質的に完全透過を有するよう構成されることを特徴とする請求項 4 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記補償デバイスは、波長または温度変動により生じる位相遅延変化を補償するよう構成されることを特徴とする請求項 4 に記載のシステム。

【請求項 8】

放射ビームは、約 193 nm 以下の波長を有することを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

30

【請求項 9】

前記電気光学変調器は、ゼロ電圧と所定電圧との間にバイアスされることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記電気光学変調器は、約 100 % 透過と約 0 % 透過の間を、約 10 ns から約 30 ns 以下で遷移することを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 11】

出力ビームにパターンを付与するよう構成されたパターンングデバイスと、
パターン付きビームを基板の目標部分に投影するよう構成された投影系と、をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

40

【請求項 12】

出力ビームを処理し、出力ビームをパターンングデバイス上に導く照明系をさらに備えることを特徴とする請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記照明系は、電気光学変調器とビームスプリッタを備えることを特徴とする請求項 12 に記載のシステム。

【請求項 14】

偏光照明放射ビームを生成するよう構成された照明系であって、
結晶水晶で形成され、放射ビームを変調するよう構成された電気光学変調器と、

50

ビームの第 1 部分をビームダンプに向かわせ、ビームの第 2 部分から照明ビームを形成するよう構成されたビームスプリッタと、を備えた照明系と、
照明放射ビームにパターンを付与するパターンニングデバイスと、
パターン付きビームを基板の目標部分に投影する投影系と、
を備えることを特徴とするリソグラフィシステム。

【請求項 15】

前記電気光学変調器は、ポッケルスセルを備えることを特徴とする請求項 14 に記載のリソグラフィシステム。

【請求項 16】

前記ビームスプリッタは、偏光ビームスプリッタを備え、前記偏光ビームスプリッタは、偏光ビームの第 1 偏光方向からビームの第 1 部分を形成し、偏光ビームの第 2 偏光方向からビームの第 2 部分を形成するよう構成されていることを特徴とする請求項 14 に記載のリソグラフィシステム。

【請求項 17】

前記電気光学変調器と前記ビームスプリッタとの間に位置された補償デバイスをさらに備えることを特徴とする請求項 14 に記載のリソグラフィシステム。

【請求項 18】

前記補償デバイスは、移動可能な結晶水晶ウェッジを備えることを特徴とする請求項 17 に記載のリソグラフィシステム。

【請求項 19】

前記補償デバイスは、前記電気光学変調器にゼロ電圧が印加されたときに、ゼロ透過または実質的に完全透過を有するよう構成されることを特徴とする請求項 17 に記載のリソグラフィシステム。

【請求項 20】

前記補償デバイスは、波長または温度変動により生じる位相遅延変化を補償するよう構成されることを特徴とする請求項 17 に記載のリソグラフィシステム。

【請求項 21】

放射ビームは、約 193 nm 以下の波長を有することを特徴とする請求項 14 に記載のリソグラフィシステム。

【請求項 22】

前記電気光学変調器は、ゼロ電圧と所定電圧との間にバイアスされることを特徴とする請求項 14 に記載のリソグラフィシステム。

【請求項 23】

前記電気光学変調器は、約 100 % 透過と約 0 % 透過の間を、約 10 ns から約 30 ns 以下で遷移することを特徴とする請求項 14 に記載のリソグラフィシステム。

【請求項 24】

(a) 結晶水長で形成された電気光学変調器を用いて偏光放射ビーム変調するステップと、

(b) ビームスプリッタを用いて変調ビームの第 1 部分をビームダンプに向かわせるステップと、

(c) 前記ビームスプリッタを用いて変調ビームの第 2 部分から出力ビームを形成するステップと、

を備えることを特徴とする方法。

【請求項 25】

ステップ (a) は、前記電気光学変調器のためにポッケルスセルを用いるステップを備えることを特徴とする請求項 24 に記載の方法。

【請求項 26】

ステップ (b) および (c) は、偏光ビームスプリッタを用いるステップを備え、前記ビームスプリッタは、偏光ビームスプリッタを備え、偏光ビームの第 1 偏光方向は、第 1 部分を形成するために用いられ、偏光ビームの第 2 偏光方向は、ビームの第 2 部分を形成

10

20

30

40

50

するために用いられることを特徴とする請求項 2 4 に記載の方法。

【請求項 2 7】

前記電気光学変調器と前記ビームスプリッタとの間に補償デバイスを位置させるステップをさらに備えることを特徴とする請求項 2 4 に記載の方法。

【請求項 2 8】

前記補償デバイスとして、移動可能な結晶水晶ウェッジを用いるステップをさらに備えることを特徴とする請求項 2 7 に記載の方法。

【請求項 2 9】

前記補償デバイスは、前記電気光学変調器にゼロ電圧が印加されたときに、ゼロ透過または実質的に完全透過を有することを特徴とする請求項 2 7 に記載の方法。

10

【請求項 3 0】

前記補償デバイスは、波長または温度変動により生じる位相遅延変化を補償することを特徴とする請求項 2 7 に記載の方法。

【請求項 3 1】

放射ビームのために約 1 9 3 n m 以下の波長を用いるステップをさらに備えることを特徴とする請求項 2 4 に記載の方法。

【請求項 3 2】

前記電気光学変調器をゼロ電圧と所定電圧との間にバイアスするステップをさらに備えることを特徴とする請求項 2 4 に記載の方法。

【請求項 3 3】

前記電気光学変調器に、約 1 0 0 % 透過と約 0 % 透過の間を約 1 0 n s から約 3 0 n s 以下で遷移させるステップをさらに備えることを特徴とする請求項 2 4 に記載の方法。

20

【請求項 3 4】

- (d) 出力ビームにパターンを付与するステップと、
 - (e) パターン付きビームを基板の目標部分に投影するステップと、
- をさらに備えることを特徴とする請求項 2 4 に記載の方法。

【請求項 3 5】

請求項 2 4 に記載の方法を用いてウェハ上に集積回路を形成することを特徴とする方法。

【請求項 3 6】

請求項 2 4 に記載の方法を用いてフラットパネルガラス基板上にフラットパネルデバイスを形成することを特徴とする方法。

30

【請求項 3 7】

出力ビームを出力するレーザであって、
結晶水晶で形成され、偏光放射ビームを変調するよう構成された電気光学変調器と、
ビームの第 1 部分をビームダンプに向かわせ、ビームの第 2 部分から出力ビームを形成するよう構成されたビームスプリッタと、
を備えることを特徴とするレーザ。

【請求項 3 8】

前記電気光学変調器は、ポッケルスセルを備えることを特徴とする請求項 3 7 に記載のレーザ。

40

【請求項 3 9】

前記ビームスプリッタは、偏光ビームスプリッタを備え、前記偏光ビームスプリッタは、偏光ビームの第 1 偏光方向からビームの第 1 部分を形成し、偏光ビームの第 2 偏光方向からビームの第 2 部分を形成するよう構成されていることを特徴とする請求項 3 7 に記載のレーザ。

【請求項 4 0】

前記電気光学変調器と前記ビームスプリッタとの間に位置された補償デバイスをさらに備えることを特徴とする請求項 3 7 に記載のレーザ。

【請求項 4 1】

50

前記補償デバイスは、移動可能な結晶水晶ウェッジを備えることを特徴とする請求項 40 に記載のレーザ。

【請求項 42】

前記補償デバイスは、前記電気光学変調器にゼロ電圧が印加されたときに、ゼロ透過または実質的に完全透過を有するよう構成されることを特徴とする請求項 40 に記載のレーザ。

【請求項 43】

前記補償デバイスは、波長または温度変動により生じる位相遅延変化を補償するよう構成されることを特徴とする請求項 40 に記載のレーザ。

【請求項 44】

放射ビームは、約 193 nm 以下の波長を有することを特徴とする請求項 37 に記載のレーザ。

【請求項 45】

前記電気光学変調器は、ゼロ電圧と所定電圧との間にバイアスされることを特徴とする請求項 37 に記載のレーザ。

【請求項 46】

前記電気光学変調器は、約 100 % 透過と約 0 % 透過の間を、約 10 ns から約 30 ns 以下で遷移することを特徴とする請求項 37 に記載のレーザ。

【請求項 47】

処理ビームを出力する照明器であって、
結晶水晶で形成され、偏光放射ビームを変調するよう構成された電気光学変調器と、
ビームの第 1 部分をビームダンプに向かわせ、ビームの第 2 部分から出力ビームを形成するよう構成されたビームスプリッタと、
前記出力ビームを処理して前記処理ビームを生成するよう構成された光学系と、
を備えることを特徴とする照明器。

【請求項 48】

前記電気光学変調器は、ポッケルスセルを備えることを特徴とする請求項 47 に記載の照明器。

【請求項 49】

前記ビームスプリッタは、偏光ビームスプリッタを備え、前記偏光ビームスプリッタは、偏光ビームの第 1 偏光方向からビームの第 1 部分を形成し、偏光ビームの第 2 偏光方向からビームの第 2 部分を形成するよう構成されていることを特徴とする請求項 47 に記載の照明器。

【請求項 50】

前記電気光学変調器と前記ビームスプリッタとの間に位置された補償デバイスをさらに備えることを特徴とする請求項 47 に記載の照明器。

【請求項 51】

前記補償デバイスは、移動可能な結晶水晶ウェッジを備えることを特徴とする請求項 50 に記載の照明器。

【請求項 52】

前記補償デバイスは、前記電気光学変調器にゼロ電圧が印加されたときに、ゼロ透過または実質的に完全透過を有するよう構成されることを特徴とする請求項 50 に記載の照明器。

【請求項 53】

前記補償デバイスは、波長または温度変動により生じる位相遅延変化を補償するよう構成されることを特徴とする請求項 50 に記載の照明器。

【請求項 54】

放射ビームは、約 193 nm 以下の波長を有することを特徴とする請求項 47 に記載の照明器。

【請求項 55】

10

20

30

40

50

前記電気光学変調器は、ゼロ電圧と所定電圧との間にバイアスされることを特徴とする請求項４７に記載の照明器。

【請求項５６】

前記電気光学変調器は、約１００％透過と約０％透過の間を、約１０ｎｓから約３０ｎｓ以下で遷移することを特徴とする請求項４７に記載の照明器。

【請求項５７】

前記電気光学変調器は、放射ビームの偏光特性を変調するよう構成されることを特徴とする請求項１に記載のシステム。

【請求項５８】

前記電気光学変調器は、放射ビームの偏光特性を変調するよう構成されることを特徴とする請求項１４に記載のリソグラフィシステム。

【請求項５９】

ステップ（ａ）は、放射ビームの偏光特性を変調することを特徴とする請求項２４に記載の方法。

【請求項６０】

前記電気光学変調器は、放射ビームの偏光特性を変調するよう構成されることを特徴とする請求項３７に記載のレーザ。

【請求項６１】

前記電気光学変調器は、放射ビームの偏光特性を変調するよう構成されることを特徴とする請求項４７に記載の照明器。

【請求項６２】

前記電気光学変調器は、高温で動作するよう構成されることを特徴とする請求項１に記載のシステム。

【請求項６３】

前記高温は、約３００であることを特徴とする請求項６２に記載のシステム。

【請求項６４】

前記電気光学変調器は、高温で動作するよう構成されることを特徴とする請求項１４に記載のリソグラフィシステム。

【請求項６５】

前記高温は、約３００であることを特徴とする請求項６４に記載のリソグラフィシステム。

【請求項６６】

前記電気光学変調器を高温に保つステップをさらに備えることを特徴とする請求項２４に記載の方法。

【請求項６７】

前記高温は、約３００であることを特徴とする請求項６６に記載の方法。

【請求項６８】

前記電気光学変調器は、高温で動作するよう構成されることを特徴とする請求項３７に記載のレーザ。

【請求項６９】

前記高温は、約３００であることを特徴とする請求項６８に記載のレーザ。

【請求項７０】

前記電気光学変調器は、高温で動作するよう構成されることを特徴とする請求項４７に記載の照明器。

【請求項７１】

前記高温は、約３００であることを特徴とする請求項７０に記載の照明器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、放射系に関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

露光装置は、所望のパターンを基板または基板の一部に転写する機械である。露光装置はたとえばフラットパネルディスプレイや集積回路（ＩＣ）、微細構造を有する他のデバイスの製造に用いられる。通常はたとえばマスクまたはレチクルと称されるパターンニング用デバイスを使用して、フラットパネルディスプレイ（または他のデバイス）の各層に対応した回路パターンを形成する。このパターンは、基板に塗布された照射感応材料（たとえばレジスト）層への像形成により基板（たとえばガラスプレート）の全体または一部に転写される。

【0003】

パターンニング手段を使用して、回路パターンではなく、たとえばカラーフィルタのパターンやドットのマトリックス状配列などの他のパターンを形成する場合もある。マスクに代えて、パターンニング用デバイスは、それぞれ個別に制御可能である素子の配列（以下「個別制御可能素子アレイ」という場合もある）を備えるパターンニングアレイであってもよい。このような方式では、マスクを使用する方式に比べて迅速かつ低コストにパターンを変更することができる。

【0004】

フラットパネルディスプレイの基板は、通常長方形である。この種の基板を露光するための露光装置は、長方形基板の幅全体またはその一部（たとえば全幅の半分）をカバーする露光空間を有するように設計される。この露光空間の最下部で基板が走査されるとともに、マスク又はレチクルが基板の走査に同期してビームに対して走査される。このようにして基板にパターンが転写される。露光空間が基板の幅全体をカバーする場合には、１回の走査で露光が完了する。露光空間がたとえば基板の幅の半分をカバーする場合には、１回目の露光後に横方向に基板を移動させ、通常は基板の残りを露光するための走査をもう一度行う。

【0005】

通常、リソグラフィシステムは、照明ビームを生成するために放射源としてレーザを用いる。レーザは、通常、放射線のビームを生成するオシレータと、ビームを増幅するパワーアンプとを備える。ハイパワーレーザの場合は、マスターオシレータを備える。増幅されたビームは、レーザビームとして出力される。これらのレーザは、パルスエネルギーや、他にもポジション、ポインティング、サイズ、ダイバージェンスなどのビームのパラメータにおいて、ランダム変動を有する。

【0006】

マスクを使用するリソグラフィシステムにおいては、マスクは、数十のレーザパルスを用いてウェハ上に結像される。ウェハ露光の間、制御アルゴリズムが、照明器（イルミネータ）入口におけるパルスエネルギー、ビームポジション、およびビームポインティング（露光におけるパルス量にわたる平均）を所望のトレランス内に維持する。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、マスクレスリソグラフィシステムにおいては、望まれるシナリオ（スループットの理由のため）は、パターンまたはパターンニングデバイスは、単一パルスで基板に結像されることである。レーザは、約プラスマイナス１０％まで単一パルスに対してエネルギー変動を有する。これは、単一パルス露光にとって大きすぎる。従って、前のパルスの偏差を補償する制御アルゴリズム、および露光におけるパルス量にわたる平均効果に頼ることは、もはやできない。それらは、もはや適用できないからである。パルスエネルギーの安定性に加えて、レーザビーム形状（たとえば、ポジション、ポインティング、サイズ、およびダイバージェンス）が、マスクレスシステムにおいては改善される必要がある。

【0008】

パルスエネルギー変動の低減は、光ディレイラインと組み合わせて高速検出器と高速光シャッタ（たとえば、両者がナノ秒の応答時間を有する）を用いて、個々のパルスのエネルギーをトリミングすることにより行うことができる。たとえば、これは、米国特許 5,852,621号においてなされており、その全体が参照することにより本明細書に組み込まれる。高速光シャッタは、電気光学材料を用いたポッケルスセル、たとえば、電気光学変調器であってよい。ポッケルスセルは、リン酸二水素カリウム（KDP）および三ホウ酸リチウム（LBO）などの材料で形成されている。問題は、これらの材料は、徐々に小さくなるエレメントを形成するためにリソグラフィシステムで今日用いられる徐々に短くなる波長において、アプリケーション特有の許容パフォーマンスを提供できないことである。たとえば、193nm以下の波長において、これらの材料は、効果的な透過率をあまり示さず、および/または、ライフタイムが短い。

10

【0009】

それゆえ、短波長に対してより良いパルス間の均一性を有する放射ビームを生成するシステムおよび方法が必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一実施形態においては、放射源、電気光学変調器、およびビームスプリッタを備えたシステムが提供される。放射源は、偏光放射ビームを生成するよう構成される。電気光学変調器は、結晶水晶で形成され、放射ビームを変調するよう構成される。ビームスプリッタは、ビームの第1部分をビームダンプに向かわせ、ビームの第2部分から出力ビームを形成するよう構成される。

20

【0011】

加えて、または代えて、システムは、レーザを含んでもよい。加えて、または代えて、システムは、照明器を含んでもよい。

【0012】

加えて、または代えて、システムは、システムは、リソグラフィシステム内に位置されてもよい。リソグラフィシステムは、パターンングデバイスと投影系を含む。この例において、照明ビームは、出力ビームから形成される。照明ビームは、パターンングデバイスによりパターン付与されるために導かれ、栄光は、パターン付きビームを基板に投影する。

30

【0013】

別の実施形態においては、デバイス製造方法が提供される。結晶水長で形成された電気光学変調器を用いて偏光放射ビーム変調される。ビームスプリッタを用いて変調ビームの第1部分がビームダンプに導かれる。ビームスプリッタを用いて変調ビームの第2部分から出力ビームが形成される。

【0014】

加えて、または代えて、出力ビームは、リソグラフィにおける照明ビームとして用いられる。照明ビームは、パターンを付与される。パターン付与されたビームは、基板の目標部分に投影される。

【0015】

本発明の更なる実施形態や特徴、効果は、本発明のさまざまな実施形態の構成及び作用とともに添付の図面を参照して以下に詳細に説明される。

40

【0016】

添付の図面は、ここに組み込まれ、本明細書の一部を構成しているが、明細書と共に本発明を説明し、さらに、本発明の原理を説明し、当業者が本発明を利用するのに役立つものである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

本明細書は、本発明の特徴を組み込んだ一つ以上の実施形態を開示している。開示された実施形態は、単に本発明の例示に過ぎない。本発明の範囲は、開示された実施形態に限

50

られない。本発明は、この文書に添付された特許請求の範囲によって定義される。

【0018】

本明細書において「一実施形態」、「実施形態の一実施例」とは、説明した実施形態が特定のフィーチャ、構造、または特徴を含んでいてもよいことを表すが、すべての実施形態がその特定のフィーチャ、構造、または特徴を必ずしも含んでいるわけではない。さらにまた、上記のフレーズは必ずしも同じ実施形態を指すものではない。さらに、特定のフィーチャ、構造、または特徴を一実施形態に関して説明するとき、明示的に説明しようがしまいが、他の実施形態に関してそのような特定のフィーチャ、構造、または特徴を作用させることは、当業者の知識の範囲内であると理解される。

【0019】

図1は、本発明の一実施形態に係る露光装置を模式的に示す図である。この装置は、照明光学系IL、パターニング用デバイスPD、基板テーブルWT、及び投影光学系PSを備える。照明光学系（照明器）ILは放射ビームB（たとえばUV放射）を調整するように構成されている。

【0020】

パターニング用デバイスPD（たとえばレチクル、マスク、または個別制御可能素子アレイ）はビームを変調する。普通は個別制御可能素子アレイは投影光学系PSに対して位置が固定されるが、あるパラメータに従って正確に位置決めする位置決め装置に接続されていてもよい。

【0021】

基板テーブルWTは、基板（たとえばレジストが塗布された基板）Wを支持するように構成されており、あるパラメータに従って基板を正確に位置決めする位置決め装置PWに接続されている。

【0022】

投影光学系（たとえば屈折投影レンズ光学系）PSは、個別制御可能素子アレイにより変調された放射ビームを基板Wの（たとえば1つ又は複数のダイからなる）目標部分Cに投影するように構成されている。

【0023】

照明光学系は、屈折光学素子、反射光学素子、磁気的光学素子、電磁気的光学素子、静電的光学素子、あるいは他の種類の光学素子などの各種の光学素子、またはこれらの組合せを含み、放射ビームの向きや形状、あるいは他の特性を制御するためのものである。

【0024】

本明細書において「パターニング用デバイス」または「コントラストデバイス」なる用語は、たとえば基板の目標部分にパターンを生成する等、放射ビーム断面を変調するのに用い得るいかなるデバイスをも示すよう広く解釈されるべきである。これらのデバイスは静的なパターニング用デバイス（たとえばマスクやレチクル）であってもよいし、動的なパターニング用デバイス（たとえばプログラム可能な素子の配列）であってもよい。簡単のために本説明のほとんどは動的パターニング用デバイスの観点でなされているが、本発明の範囲を逸脱することなく静的パターニング用デバイスを用いることも可能であるものと理解されたい。

【0025】

放射ビームに付与されるパターンは、パターンが位相シフトフィーチャあるいはいわゆるアシストフィーチャをたとえば含む場合には基板の目標部分に所望されるパターンと厳密に一致していなくてもよい。また、基板に最終的に形成されるパターンは、個別制御可能素子アレイ上に形成されるパターンにどの時点においても一致しないようになっていてもよい。このような事態は、基板の各部に形成される最終的なパターンが所定時間または所定回数の露光の重ね合わせにより形成され、かつこの所定の露光中に個別制御可能素子アレイ上のパターン及び/またはアレイと基板との相対位置が変化する場合に起こりうる。

【0026】

10

20

30

40

50

通常、基板の目標部分に生成されるパターンは、その目標部分に生成されるデバイスたとえば集積回路やフラットパネルディスプレイの特定の機能層に対応する（たとえばフラットパネルディスプレイのカラーフィルタ層や薄膜トランジスタ層）。パターニング用デバイスの例としては、レチクル、プログラマブルミラーアレイ、レーザダイオードアレイ、LEDアレイ、グレーティングライトバルブ、及びLCDアレイなどがある。

【0027】

電子的手段（たとえばコンピュータ）によりパターンをプログラム可能であるパターニング用デバイスは、たとえば複数のプログラム可能な素子を含むパターニング用デバイス（たとえば1つ前の文章に挙げたものではレチクルを除くすべてのものが該当する）であり、本明細書では総称して「コントラストデバイス」と呼ぶこととする。さまざまな実施例ではパターニング用デバイスは少なくとも10個のプログラム可能な素子を備え、またはたとえば少なくとも100個、少なくとも1000個、少なくとも10000個、少なくとも100,000個、少なくとも1,000,000個、または少なくとも10,000,000個のプログラム可能な素子を備えてもよい。

10

【0028】

プログラマブルミラーアレイは、粘弾性制御層と反射表面とを有するマトリックス状のアドレス指定可能な表面を備えてもよい。この装置の基本的な原理はたとえば、反射表面のうちアドレス指定されている区域が入射光を回折光として反射する一方、アドレス指定されていない区域が入射光を非回折光として反射するというものである。適当な空間フィルタを用いることにより、反射光ビームから非回折光を取り除いて回折光だけを基板に到達させるようにすることができる。このようにして、マトリックス状のアドレス指定可能な表面にアドレス指定により形成されるパターンに従ってビームにパターンが付与される。

20

【0029】

なお代替例として、フィルタにより回折光を取り除いて基板に非回折光を到達させるようにしてもよい。

【0030】

同様にして回折光学MEMS（微小電気機械システム）デバイスを用いることもできる。一例としては、回折光学MEMSデバイスは、入射光を回折光として反射する回折格子を形成するよう変形される複数の反射性のリボン状部位を備える。

30

【0031】

プログラマブルミラーアレイの他の例においては、マトリックス状の微小ミラーの配列が用いられる。各微小ミラーは局所的に電界を適宜付与されることによりまたは圧電駆動手段を使用することにより各々が独立に軸周りに傾斜しうる。繰り返しになるが、ミラーはマトリックス状にアドレス指定可能に構成されており、アドレス指定されたミラーは入射する放射ビームをアドレス指定されていないミラーとは異なる方向に反射する。このようにしてマトリックス状のアドレス指定可能なミラーにより形成されるパターンに従って反射ビームにパターンが付与されうる。必要とされるマトリックス状アドレス指定は、適宜の電子的手段を使用して実行することができる。

【0032】

パターニング用デバイスPDの他の例はプログラム可能なLCDアレイである。

40

【0033】

露光装置は1つ以上のコントラストデバイスを備えてもよい。たとえば、露光装置は、複数の個別制御可能素子アレイを有し、それぞれの素子が互いに独立に制御されるものであってもよい。この構成においては、個別制御可能素子アレイのうちのいくつかのアレイまたはすべてのアレイが少なくとも1つの照明光学系（または照明光学系の一部）を共有していてもよい。斯かるアレイは当該アレイ用の支持構造及び/または投影光学系（または投影光学系の一部）を共有していてもよい。

【0034】

一実施例としては、図1に示される実施形態のように、基板Wは実質的に円形状である。基板Wは周縁部にノッチ及び/または平坦部を有していてもよい。一実施例としては、

50

基板はたとえば長方形などの多角形状でもよい。

【0035】

基板の形状が実質的に円形の場合、基板の直径は少なくとも25mmであってもよく、またはたとえば少なくとも50mm、少なくとも75mm、少なくとも100mm、少なくとも125mm、少なくとも150mm、少なくとも175mm、少なくとも200mm、少なくとも250mm、または少なくとも300mmであってもよい。一実施例では、基板の直径は長くて500mm、長くて400mm、長くて350mm、長くて300mm、長くて250mm、長くて200mm、長くて150mm、長くて100mm、または長くて75mmである。

【0036】

基板がたとえば長方形などの多角形の場合、基板の少なくとも1辺の長さ、またはたとえば少なくとも2辺または少なくとも3辺の長さが、少なくとも5cmであってもよく、またはたとえば少なくとも25cm、少なくとも50cm、少なくとも100cm、少なくとも150cm、少なくとも200cm、または少なくとも250cmであってもよい。

【0037】

一実施例では、基板の少なくとも1辺の長さが、長くて1000cm、またはたとえば長くて750cm、長くて500cm、長くて350cm、長くて250cm、長くて150cm、または長くて75cmである。

【0038】

一実施例においては、基板Wはウエハであり、たとえば半導体ウエハである。一実施例ではウエハの材料は、Si(ケイ素)、SiGe(シリコンゲルマニウム)、SiGeC(シリコンゲルマニウムカーボン)、SiC(炭化ケイ素)、Ge(ゲルマニウム)、GaAs(ガリウムヒ素)、InP(インジウムリン)、InAs(インジウムヒ素)から成るグループから選択される。一実施例ではウエハはIII-V族化合物半導体ウエハである。一実施例ではウエハはシリコンウエハである。一実施例では基板はセラミック基板である。一実施例では基板はガラス基板である。一実施例では基板はプラスチック基板である。一実施例では基板は(ヒトの裸眼で)透明である。一実施例では基板は有色である。一実施例では基板は無色である。

【0039】

この基板の厚さはたとえば基板材料及び/または基板寸法に応じてある程度変更される。一実施例では、基板の厚さは、少なくとも50μmであり、またはたとえば少なくとも100μm、少なくとも200μm、少なくとも300μm、少なくとも400μm、少なくとも500μm、または少なくとも600μmである。一実施例では、基板の厚さは、厚くて5000μm、たとえば厚くて3500μm、厚くて2500μm、厚くて1750μm、厚くて1250μm、厚くて1000μm、厚くて800μm、厚くて600μm、厚くて500μm、厚くて400μm、または厚くて300μmである。

【0040】

基板は露光前または露光後においてたとえばトラック(典型的にはレジスト層を基板に塗布し、露光後のレジストを現像する装置)、計測装置、及び/または検査装置により処理されてもよい。一実施例ではレジスト層が基板に設けられる。

【0041】

本明細書では投影光学系または投影系という用語は、使用される露光光、あるいは液浸露光用液体や真空の利用などの他の要因に関して適切とされるいかなる投影光学系をも包含するよう広く解釈されるべきである。投影光学系にはたとえば屈折光学系、反射光学系、反射屈折光学系、磁気的光学系、電磁気的光学系、静電的光学系、またはこれらの任意の組み合わせなどが含まれる。以下では「投影レンズ」という用語は、より一般的な用語である投影光学系または投影系という用語と同義に用いられ得る。

【0042】

投影系は、個別制御可能素子アレイにおけるパターンが基板上にコヒーレントに形成されるように当該パターンの像を形成する。これに代えて投影系は二次光源の像を形成してもよく、この場合個別制御可能素子アレイの各素子はシャッタとして動作してもよい。この場合には投影系は、たとえば二次光源を形成し基板上にスポット状に像形成するために、たとえばマイクロレンズアレイ (micro lens array、MLAとして知られている) やフレネルレンズアレイなどの合焦用素子のアレイを含んでもよい。一実施例では合焦用素子のアレイ (たとえば MLA) は少なくとも 10 個の合焦用素子を備え、またはたとえば少なくとも 100 個、少なくとも 1000 個、少なくとも 10000 個、少なくとも 100,000 個、または少なくとも 1,000,000 個の合焦用素子を備えてもよい。一実施例においては、パターンニング用デバイスにおける個別制御可能素子の数と合焦用素子のアレイにおける合焦用素子の数とは等しいか、あるいは、パターンニング用デバイスにおける個別制御可能素子の数が合焦用素子のアレイにおける合焦用素子の数よりも多い。一実施例では、合焦用素子のアレイにおける 1 つ以上 (たとえばたいていは各アレイにつき 1000 以上) の合焦用素子は、個別制御可能素子アレイにおける 1 つ以上 (たとえば 2 つ以上、または 3 つ以上、5 つ以上、10 以上、20 以上、25 以上、35 以上、または 50 以上) の個別制御可能素子に光学的に関連していてもよい。一実施例では、MLA は、少なくとも基板に近づく方向及び遠ざかる方向にたとえば 1 以上のアクチュエータを用いて移動可能である。基板に近づく方向及び遠ざかる方向に MLA を移動させることができる場合には、基板を動かすことなくたとえば焦点合わせをすることが可能となる。

10

20

【0043】

図 1 及び図 2 に示されるように本装置は反射型 (たとえば反射型の個別制御可能素子アレイを用いる) である。透過型 (たとえば透過型の個別制御可能素子アレイを用いる) の装置を代替的に用いてもよい。

【0044】

露光装置は 2 つ以上 (2 つの場合にはデュアルステージと呼ばれる) の基板テーブルを備えてもよい。このような多重ステージ型の装置においては、追加されたテーブルは並行して使用されるか、あるいは 1 以上のテーブルで露光が行われている間に 1 以上の他のテーブルで準備工程が実行されるようにしてもよい。

30

【0045】

露光装置は、基板の少なくとも一部が「液浸露光用の液体」で覆われるものであってもよい。この液体は比較的高い屈折率を有するたとえば水などの液体であり、投影系と基板との間の空隙を満たす。液浸露光用の液体は、たとえばパターンニング用デバイスと投影系との間などの露光装置の他の空間に適用されるものであってもよい。液浸技術は投影系の開口数を増大させる技術として周知である。本明細書では「液浸」という用語は、基板等の構造体が液体に完全に浸されているということの意味するのではなく、露光の際に投影系と基板との間に液体が存在するということの意味するに過ぎない。

【0046】

図 1 に示されるように照明器 IL は放射源 SO から放射ビームを受け取る。一実施例では、放射源により、少なくとも 5 nm、またはたとえば少なくとも 10 nm、少なくとも 11 - 13 nm、少なくとも 50 nm、少なくとも 100 nm、少なくとも 150 nm、少なくとも 175 nm、少なくとも 200 nm、少なくとも 250 nm、少なくとも 275 nm、少なくとも 300 nm、少なくとも 325 nm、少なくとも 350 nm、または少なくとも 360 nm の波長を有する放射が供される。一実施例では、放射源 SO により供される放射は、長くて 450 nm、またはたとえば長くて 425 nm、長くて 375 nm、長くて 360 nm、長くて 325 nm、長くて 275 nm、長くて 250 nm、長くて 225 nm、長くて 200 nm、または長くて 175 nm の波長を有する。一実施例では、この放射は、436 nm、405 nm、365 nm、355 nm、248 nm、193 nm、157 nm、及び / または 126 nm の波長を含む。一実施例では、この放射は 365 nm 程度、または 355 nm 程度の波長を含む。一実施例で

40

50

は、この放射はたとえば 365 nm、405 nm、及び 436 nm の波長を含む広帯域の波長を含む。355 nm の波長のレーザ光源を使用し得る。たとえば光源がエキシマレーザである場合には、光源と露光装置とは別体であってもよい。この場合、光源は露光装置の一部を構成しているとはみなされなく、放射ビームは光源 S O から照明器 I L へとビーム搬送系 B D を介して受け渡される。ビーム搬送系 B D はたとえば適当な方向変更用ミラー及び／またはビームエキスパンダを含んで構成される。あるいは光源が水銀ランプである場合には、光源は露光装置に一体に構成されていてもよい。光源 S O と照明器 I L とは、またビーム搬送系 B D が必要とされる場合にはこれも合わせて、放射系と総称される。

【0047】

照明器 I L は放射ビームの角強度分布を調整するためのアジャスタ A D を備えてもよい。一般にはアジャスタ A D により、照明器の瞳面における強度分布の少なくとも半径方向外径及び／または内径（通常それぞれ「シグマ - アウタ（ σ - outer）」、「シグマ - インナ（ σ - inner）」と呼ばれる）が調整される。加えて照明器 I L は、インテグレート I N 及びコンデンサ C O などの他の要素を備えてもよい。照明器はビーム断面における所望の均一性及び強度分布を得べく放射ビームを調整するために用いられる。照明器 I L 及び追加の関連構成要素は放射ビームを複数の分割ビームに分割するように構成されていてもよい。たとえば各分割ビームが個別制御可能素子アレイにおける 1 つまたは複数の個別制御可能素子に対応するように構成してもよい。放射ビームを分割ビームに分割するのにたとえば二次元の回折格子を用いてもよい。本明細書においては「放射ビーム」という用語は、放射ビームがこれらの複数の分割ビームを含むという状況も包含するが、これに限定されないものとする。

【0048】

放射ビーム B は、パターンニング用デバイス P D（たとえば、個別制御可能素子アレイ）に入射して、当該パターンニング用デバイスにより変調される。放射ビームはパターンニング用デバイス P D により反射され、投影系 P S を通過する。投影系 P S はビームを基板 W の目標部分 C に合焦させる。位置決め装置 P W と位置センサ I F（たとえば、干渉計、リニアエンコーダ、静電容量センサなど）により基板テーブル W T は正確に移動され、たとえば放射ビーム B の経路に異なる複数の目標部分 C をそれぞれ位置決めするように移動される。また、個別制御可能素子アレイ用の位置決め手段が設けられ、たとえば走査中にビーム B の経路に対してパターンニング用デバイス P D の位置を正確に補正するために用いられ

【0049】

一実施例においては、ロングストロークモジュール（粗い位置決め用）及びショートストロークモジュール（精細な位置決め用）により基板テーブル W T の移動を実現する。ロングストロークモジュール及びショートストロークモジュールは図 1 には明示されていない。一実施例では基板テーブル W T を移動させるためのショートストロークモジュールを省略してもよい。個別制御可能素子アレイを位置決めするためにも同様のシステムを用いることができる。必要な相対運動を実現するために、対象物テーブル及び／または個別制御可能素子アレイの位置を固定する一方、放射ビーム B を代替的にまたは追加的に移動可能としてもよいということも理解されよう。この構成は装置の大きさを小さくするのに役立ち得る。たとえばフラットパネルディスプレイの製造に適用可能な更なる代替例として、基板テーブル W T 及び投影系 P S を固定し、基板 W を基板テーブル W T に対して移動させるように構成してもよい。たとえば基板テーブル W T は、実質的に一定の速度で基板 W を走査させるための機構を備えてもよい。

【0050】

図 1 に示されるように放射ビーム B はビームスプリッタ B S によりパターンニング用デバイス P D に向けられるようにしてもよい。このビームスプリッタ B S は、放射ビームがまずビームスプリッタ B S により反射されてパターンニング用デバイス P D に入射するように構成される。ビームスプリッタを使わずに放射ビームをパターンニング用デバイスに入射させるようにすることもできる。一実施例では放射ビームは 0 度から 90 度の間の角度でパ

ターニング用デバイスに入射する。またはたとえば5度から85度の間、15度から75度の間、25度から65度の間、または35度から55度の間の角度であってもよい(図1には90度の例が示されている)。パターンニング用デバイスPDは放射ビームBを変調し、再度ビームスプリッタBSに向かって戻るように放射ビームBを反射する。ビームスプリッタBSは変調されたビームを投影系PSへと伝達する。しかしながら放射ビームBをパターンニング用デバイスPDに入射させ、そのまま更に投影系PSに入射させるという代替的な構成も可能であることも理解されよう。特に透過型のパターンニング用デバイスが用いられる場合には図1に示される構成は必要とはされない。

【0051】

図示の装置はいくつかのモードで 사용할 ことができる。

10

【0052】

1. ステップモードにおいては、放射ビームに付与されたパターンの全体が1回の照射で目標部分Cに投影される間、個別制御可能素子アレイ及び基板は実質的に静止状態とされる(すなわち1回の静的な露光)。そして基板テーブルWTがX方向及び/またはY方向に移動されて、異なる目標部分Cが露光される。ステップモードでは露光フィールドの最大サイズによって、1回の静的露光で結像される目標部分Cの寸法が制限されることになる。

【0053】

2. スキャンモードにおいては、放射ビームに付与されたパターンが目標部分Cに投影される間、個別制御可能素子アレイ及び基板は同期して走査される(すなわち1回の動的な露光)。個別制御可能素子アレイに対する基板の速度及び方向は、投影系PSの拡大(縮小)特性及び像反転特性により定められる。スキャンモードでは露光フィールドの最大サイズが1回の動的露光での目標部分Cの(非走査方向の)幅を制限し、走査移動距離が目標部分の(走査方向の)長さを決定する。

20

【0054】

3. パルスモードにおいては、個別制御可能素子アレイは実質的に静止状態とされ、パルス放射源により基板Wの目標部分Cにパターンの全体が投影される。基板テーブルWTが実質的に一定の速度で移動して、ビームBは基板上を線状に走査させられる。個別制御可能素子アレイ上のパターンは放射系からのパルス間に必要に応じて更新される。パルス照射のタイミングは、基板上の複数の目標部分Cが連続して露光されるように調整される。その結果、基板上の1つの短冊状領域にパターンが完全に露光されるようビームBにより基板Wが走査されることになる。この短冊状領域の露光を順次繰り返すことにより基板Wは完全に露光される。

30

【0055】

4. 連続スキャンモードは基本的にパルスモードと同様である。異なるのは、変調された放射ビームBに対して基板Wが実質的に等速で走査され、ビームBが基板W上を走査し露光しているときに個別制御可能素子アレイ上のパターンが更新されることである。個別制御可能素子アレイのパターンの更新に同期させるようにした、実質的に一定の放射源またはパルス放射源を用いることができる。

【0056】

40

5. ピクセルグリッド結像モードでは、基板Wに形成されるパターンはスポット状の露光を連続的に行うことにより実現される。このモードは図2の露光装置を使用して実現することができる。このスポット状の露光はスポット発生器により形成され、スポット発生器はパターンニング用デバイスPDに適切に方向付けられて配置されている。スポット状の露光はそれぞれ実質的に同形状である。基板W上には露光スポットにより最終的に実質的に格子が描かれる。一実施例では、このスポットの寸法は最終的に基板上に描かれる格子のピッチよりも大きい、毎回の露光時に露光スポットが形成する格子の大きさよりもかなり小さい。転写されるスポットの強度を変化させることによりパターンが形成される。露光照射の合間に各スポットの強度分布が変更される。

【0057】

50

上記で記載したモードを組み合わせて動作させてもよいし、モードに変更を加えて動作させてもよく、さらに全く別のモードで使用してもよい。

【0058】

リソグラフィでは基板上のレジスト層にパターンが露光される。そしてレジストが現像される。続いて追加の処理工程が基板に施される。基板の各部分へのこれらの追加の処理工程の作用は、レジストへの露光の程度によって異なる。特にこの処理は、所与の線量閾値を超える照射量を受けた基板の部位が示す反応と、その閾値以下の照射量を受けた部位が示す反応とが異なるように調整されている。たとえば、エッチング工程においては上記の閾値を超える照射量を受けた基板上の区域は、レジスト層が現像されることによりエッチングから保護される。一方、この閾値以下の照射量を受けたレジストは露光後の現像工程で除去され、基板のその区域はエッチングから保護されない。このため、所望のパターンにエッチングがなされる。特に、パターンニング用デバイス内の個別制御可能素子は、パターン図形内部となる基板上の区域での露光中の照射量が線量閾値を超えるように実質的に高強度であるように設定される。基板の他の領域は、ゼロまたはかなり低い放射強度を受けると対応の個別制御可能素子が設定されることにより、線量閾値以下の放射を受ける。

10

【0059】

実際には、パターン図形端部での照射量は所与の最大線量からゼロへと急激に変化するわけではない。この照射量は、たとえ図形の境界部分の一方の側への放射強度が最大となり、かつその図形境界部分の他方の側への放射強度が最小となるように個別制御可能素子が設定されていたとしても急激には変化しない。回折の影響により、照射量の大きさは移行領域を介して低下するからである。パターン図形の境界位置は最終的にレジストの現像により形成される。その境界位置は、照射された線量が閾値を下回る位置によって定められる。この移行領域での線量低下のプロファイル、ひいてはパターン図形の境界の正確な位置は、当該図形境界上または近傍に位置する基板上の各点に放射を与える個別制御可能素子の設定により、より正確に制御できるであろう。これは、強度レベルの最大値または最小値を制御するだけでなく、当該最大値及び最小値の間の強度レベルにも制御することによっても可能となるであろう。これは通常「グレイスケーリング」と呼ばれる。

20

【0060】

グレイスケーリングによれば、個別制御可能素子により基板に2値の放射強度（つまり最大値と最小値）だけが与えられるリソグラフィシステムよりも、パターン図形の境界位置の制御性を向上させることができる。一実施例では、少なくとも3種類の放射強度が基板に投影されてもよく、またはたとえば少なくとも4種類の放射強度でも、少なくとも8種類の放射強度でも、少なくとも16種類の放射強度でも、少なくとも32種類の放射強度でも、少なくとも64種類の放射強度でも、少なくとも128種類の放射強度でも、または少なくとも256種類の放射強度でもよい。

30

【0061】

グレイスケーリングは上述の目的に加えてまたは上述の目的に代えて使用されてもよい。たとえば、照射された線量レベルに応じて基板の各領域が2種以上の反応を可能とするように、露光後の基板への処理が調整されていてもよい。たとえば、第1の線量閾値以下の放射を受けた基板の部位では第1の種類の反応が生じ、第1の線量閾値以上で第2の線量閾値以下の放射を受けた基板の部位では第2の種類の反応が生じ、第2の線量閾値以上の放射を受けた基板の部位では第3の種類の反応が生じるようにしてもよい。したがって、グレイスケーリングは、基板上での線量のプロファイルが2以上の望ましい線量レベルを有するようにするのに用いることができる。一実施例では、この線量プロファイルは少なくとも2つの所望の線量レベルを有し、またはたとえば少なくとも3つの所望の線量レベル、少なくとも4つの所望の線量レベル、少なくとも6つの所望の線量レベル、または少なくとも8つの所望の線量レベルを有してもよい。

40

【0062】

線量プロファイルの制御は、上述のように基板上の各点が受ける放射強度を単に制御す

50

るという方法以外の方法によっても可能である。たとえば、基板上の各点が受ける照射量は、各点への露光時間を代替的にまたは追加的に制御することによっても制御することができる。他の例として、基板上の各点は、連続的な複数の露光により放射を受けてもよい。このような連続的複数露光から一部の露光を選択して用いることにより代替的にまたは追加的に各点が受ける照射量を制御することが可能となる。

【0063】

基板上に要求されるパターンを形成するために、露光処理中の各段階でパターニング用デバイスの各個別制御可能素子を必要な状態に設定する必要がある。よって、この必要状態を表す制御信号が各個別制御可能素子に伝達されなければならない。一実施例では、露光装置はこの制御信号を生成する制御部を含む。基板に形成されるべきパターンは、たとえばGDSIIなどのベクトルで規定されるフォーマットで露光装置に供給されうる。デザイン情報を各個別制御可能素子用の制御信号に変換するために、制御部は、1つ以上のデータ処理装置を含む。各データ処理装置は、パターンを表すデータストリームに処理を施すように構成されている。データ処理装置は「データパス」とも総称される。

【0064】

このデータパス及びデータ処理装置は、次に示す機能の1つ以上を実行するように構成されていてもよい。その機能とは、ベクトルベースのデザイン情報をビットマップのパターンデータに変換すること、ビットマップのパターンデータを必要とされる線量マップ（つまり基板上で必要とされる線量のプロファイル）に変換すること、必要とされる線量マップを各個別制御可能素子用の必要放射強度値に変換すること、及び、各個別制御可能素子用の必要放射強度値を対応する制御信号に変換することである。

【0065】

図2は、本発明に係る露光装置の一例を示す図である。この実施例はたとえばフラットパネルディスプレイの製造に用いることができる。図1に示される構成要素に対応するものには図2においても同じ参照符号を付している。また、基板やコントラストデバイス、MLA、放射ビームなどについてののさまざまな構成例などを含む上述のさまざまな変形例は同様に適用可能である。

【0066】

図2に示されるように、投影系PSは、2つのレンズL1、L2を備えるビームエキスパンダを含む。第1のレンズL1は、変調された放射ビームBを受け、開口絞りASの開口部で合焦させる。開口部には他のレンズALを設けてもよい。そして放射ビームBは発散し、第2のレンズL2（たとえばフィールドレンズ）により合焦させられる。

【0067】

投影系PSは、拡大された変調放射ビームBを受けるとともに構成されているレンズアレイMLAをさらに備える。変調放射ビームBの異なる部分はそれぞれレンズアレイMLAの異なるレンズを通過する。この変調放射ビームBの異なる部分はそれぞれ、パターニング用デバイスPDの1つ以上の個別制御可能素子に対応している。各レンズは変調放射ビームBの各部分を基板W上の点に合焦させる。このようにして基板W上に照射スポットSの配列が露光される。図示されているレンズアレイには8つのレンズ14が示されているだけであるが、レンズアレイは数千のレンズを含んでもよい（パターニング用デバイスPDとして用いられる個別制御可能素子アレイについても同様である）。

【0068】

図3は、本発明の一実施形態に係り、図2のシステムを用いて基板W上にどのようにパターンが生成されるのかを模式的に示す図である。図中の黒丸は、投影系PSのレンズアレイMLAによって基板に投影されるスポットSの配列を示す。基板は、基板上での露光が進むにつれて投影系に対してY方向に移動する。図中の白丸は、基板上で既に露光されている露光スポットSEを示す。図示されるように投影系PSのレンズアレイMLAによって基板に投影された各スポットは基板上に露光スポット列Rを形成する。各スポットSの露光により形成される露光スポット列Rがすべて合わさって、基板にパターンが完全に形成される。上述のようにこのような方式はよく「ピクセルグリッド結像」と称される

。

【0069】

照射スポットSの配列が基板Wに対して角度 θ をなして配置されている様子が示されている(基板Wの端部はそれぞれX方向及びY方向に平行である)。これは、基板が走査方向(Y方向)に移動するときに、各照射スポットが基板の異なる領域を通過するようにするためである。これにより、照射スポット15の配列により基板の全領域がカバーされることになる。一実施例では、角度 θ は大きくても20°または10°であり、またはたとえば大きくても5°、大きくても3°、大きくても1°、大きくても0.5°、大きくても0.25°、大きくても0.10°、大きくても0.05°、または大きくても0.01°である。一実施例では、角度 θ は小さくても0.001°である。

10

【0070】

図4は、本発明の一実施形態において、どのようにしてフラットパネルディスプレイの基板W全体が複数の光学エンジンを用いて1回の走査で露光されるのかを模式的に示す図である。この例では照射スポットSの配列SAが8つの光学エンジン(図示せず)により形成される。光学エンジンはチェス盤のように2つの列R1、R2に配置されている。照射スポットの配列の端部が隣接の照射スポット配列の端部に(走査方向であるY方向において)少し重なるように形成される。一実施例では光学エンジンは少なくとも3列、たとえば4列または5列に配列される。このようにして、照射の帯が基板Wの幅を横切って延び、1回の走査で基板全体の露光が実現されることとなる。光学エンジンの数は適宜変更してもよい。一実施例では、光学エンジンの数は少なくとも1個であり、またはたとえば少なくとも2個、少なくとも4個、少なくとも8個、少なくとも10個、少なくとも12個、少なくとも14個、または少なくとも17個である。一実施例では、光学エンジンの数は40個未満であり、またはたとえば30個未満または20個未満である。

20

【0071】

各光学エンジンは、上述の照明系IL、パターニング用デバイスPD、及び投影系PSを別個に備えてもよい。あるいは2個以上の光学エンジンが1以上の照明系、パターニング用デバイス、及び投影系の少なくとも一部を共有してもよい。

【0072】

典型的な放射線生成アレイメント

図5は、照明系500の一部を示す。照明系500は、電気光学変調器502(以下、e/o変調器または変調器)、光学的補償デバイス504、ビームスプリッタ506、およびビームダンプ508を含む。放射源(図示しないが、たとえば図1および2の放射源S0を参照)から出力されたビーム510は、e/o変調器502により変調されて、変調ビーム512を生成する。この明細書を読んで理解した当業者には明らかなように、たとえば、強度、指向性、偏光、透過角、ビームステアリングなどは、全て変調され得る。一例では、変調ビーム512は、補償器504を通過して、補償ビーム514が生成される。この動作は、以下においてより詳細に説明する。そうでなければ、ビーム512とビーム514は、同じビームである。ビーム514は、ビームスプリッタ506を用いて処理され、ビームダンプ508へと向かう第1部分516と、出力ビームを形成する第2部分518とが形成される。たとえば、当技術分野で周知のように、ビームスプリッタ506の面520は、ビーム514の一定量を透過し、一定量を反射する。これは、面520を形成する材料、または面520に形成される層の材料に基づくことができる。ビームスプリッタ506は、選択されたビーム514の波長に対して適当な透過/反射を可能とする任意の材料で形成することができる。

30

40

【0073】

ビームスプリッタ506は、偏光ビームスプリッタとすることができる。偏光ビームスプリッタ506は、ビーム514の第1偏光方向から第1部分516を、ビーム514の第2偏光方向から第2部分518を生成するよう構成することができる。

【0074】

使用時、補償デバイス504は、結晶水晶(たとえば、結晶構造における二酸化シリコ

50

ン)から形成されるウェッジとすることができる。補償デバイス504を矢印Aで示される方向に動かして、ビーム512の伝搬時間を遅延させることによりビーム512の光路長を調整し、補償ビーム514を生成することができる。

【0075】

一例では、光路長は、レーザビームの全ての部分において同じにならない。そうでなければ、ビームの異なる部分は、異なる位相遅延量を有することになり、結果として、e-o変調器と補償デバイス504の後に、異なる偏光状態となる。従って、補償器ウェッジ504が用いられない場合、e-o変調用結晶636(図6参照)の前面と裏面は平行でなければならない。補償器ウェッジが用いられる場合、構成要素636の前面および補償デバイス504の裏面は、平行であるべきであり、構成要素636の裏面と補償デバイス504の前面は、平行であるべきである。

10

【0076】

図6は、典型的な電気光学変調器602を示す。図7は、電気光学変調器502と偏光ビームスプリッタ506の組み合わせにおける、通常動作(実線)と位相遅延動作(破線)間の透過率対電圧のグラフを示す。一例では、電気光学変調器602が考えられているが、これはまた、ポッケルスセルとも称される。ポッケルスセル602は、電源630と、e/oエレメント636の対向する面に結合された第1電極632および第2電極634を含む。e/oエレメント636に印加された電圧の変化により、e/oエレメント636を通過したときにビーム510の正常波と異常波間の位相遅延が変化する。位相遅延量は、e/oエレメント636の結晶長、ビーム510の波長、および/または温度、たとえば下記に説明するようにe/oエレメント636の温度に依存してもよい。正常波と異常波間の全位相遅延は、e/oエレメント636の出力におけるビーム512の偏光状態を決定する。ビームスプリッタ506におけるビーム514(512)の分極方位は、出力ビーム518としてビームスプリッタ506を透過される光の割合と、ビーム516としてビームスプリッタ506から反射される光の割合とを決定する。その結果として、ビームスプリッタ506の伝達効率は、ポッケルスセル602に印加された電圧の関数とすることができる。

20

【0077】

さらに加えて、オプションアルアレンジメントとして、温度調節器638(点線で示される)をポッケルスセル602に連結することができる。たとえば、これにより、ポッケルスセル602の温度を特定の温度、たとえば、高温に維持することができる。一例では、高温は、約300度であってよい。たとえば、高温でポッケルスセル602を動作させることにより、約193nmの放射線の透過の間にポッケルスセル602に生じるダメージが実質的になくなる。これにより、透過率が劣化することなしに、長期間にわたるポッケルスセル602の動作が可能となる。

30

【0078】

再度、図7を参照すると、これは、透過率対電圧は、図5に示すような電気光学変調器502と偏光ビームスプリッタ506の組み合わせによるものであることを示している。これは、e-o変調器502は、一般的に、ビームの偏光を変化させるのであって、ビームのエネルギーは変化させないためである。

40

【0079】

他の典型的なe/o変調器の動作のさらなる説明は、たとえば、共有の、同時係属の出願である10/972, 582, 11/005, 222, および11/039, 900に見出すことができ、これらは、その全体が参照することにより本明細書に組み込まれる。

【0080】

一例において、e/oエレメント636は、結晶水晶で形成され、これは、電気光学効果と、193nm以下の波長に対して高い透過率とを有することが知られている。この理由のため、193nmにおいて効果的に機能するように、結晶水晶はポッケルスセル602に用いることができる。同様の理由により、上述したように、結晶水晶は、補償デバイス504を製造するために用いることができる。

50

【0081】

ポッケルスセル602が高速のアプリケーション（たとえば、パルストリミング）に用いられる例においては、ポッケルスセル602のスイッチング（約1から0へ、すなわち、100%から0%への透過率のスイッチング）は、たとえば約10～約30ナノ秒以下になされなければならない。この状況においては、2つの任意の電圧間ではなく、所定の第1電圧からゼロ電圧に切り替えられることが望ましい。所定の第1電圧の値は、e/oエレメント636における水晶の長さ、およびビーム510の波長に基づくことができる。たとえば、e/oエレメント636における水晶の長さが長くなると、その所定の電圧値は、低くなる。このように、e/oエレメント636における水晶の長さとは印加される所定の第1電圧との間には相関関係が存在する。

10

【0082】

加えて、または代えて、補償デバイス504、たとえば補償器ウェッジを用いることができる。図5の矢印Aの方向に補償器ウェッジ504を移動させることにより、ビーム510の全体的な位相遅延は、印加電圧ゼロのときに透過率がゼロとなるように調整することができる。あるいはまた、ビーム510の全体的な位相遅延は、印加電圧がゼロのときに実質的に完全透過（100%）となるように調整することもできる。結果として位相遅延の変化となるビーム510の波長、および/またはe/oエレメント636の温度の変化もまた、補償器ウェッジ504の適切な位置調整により補償され、所望の補償ビーム514を生成することができる。

【0083】

20

加えて、または代えて、ポッケルスセル602の電気光学効果の他に、エレメント636の結晶水晶材料は、圧電効果を示すことができる。圧電効果もまた、印加電圧の関数として、位相遅延変化を作り出すために用いることができる。上記および下記に説明される高速アプリケーションに対して、圧電効果は、十分なほど速くはない。しかしながら、下記に説明するように、透過率の変化において遅い遷移時間を要求するアプリケーションにおいては、圧電効果は、電気光学効果と同じように、ビーム510を処理するために用いることができる。

【0084】

一例では、KDPおよびLBOと比較すると、e/oエレメント636の結晶水晶における電気光学効果は、約50倍低い。この意味するところは、電圧がe/oエレメント636に印加されたとき、同じ電圧値に対する有効屈折率の変化は、KDPよりも約50倍低いということである。

30

【0085】

ポッケルスセル602は、複数のアプリケーションに用いることができることを理解されたい。1つのアプリケーションは、高速デジタルモード、たとえば、上述したようなパルスエネルギーのトリミングである。パルスエネルギーのトリミングにおいて、ポッケルスセル602の透過率は、最大透過率（たとえば約100%透過率）から最小透過率（たとえば約0%透過率）に、たとえば、約10から30ns以下で移らなければならない。この例においては、ポッケルスセル602は、この速さであることが望まれる。そうでなければ、パルス510のトリミングは、十分なほど正確にはならないであろう。

40

【0086】

ポッケルスセル602を用いる他のアプリケーションは、遅いアナログモードである。このモードは、2つまたは3つのパルスが各照射線量に用いられるときに用いることができる。たとえば、マスクレス露光において用いることができる。レーザパルスごとに任意の透過率値に設定することが可能な、可変減衰デバイス、たとえば、ポッケルスセル602が必要とされる。レーザの動作が6kHzである場合、ポッケルスセル602の制御により生じるビーム510の減衰は、約166μsごとに変化しなければならない。

【0087】

加えて、または代えて、光はいくらかのダイバージェンスを有するので、入射角に対するポッケルス効果の感度が存在する。さまざまな結晶方位において、ポッケルス効果は、

50

YZ方向に沿って伝搬する光に対して最も強くなると考えられる。一例では、光路はY方向に沿うことが望まれる。これは、場合によっては、強い電界を必要とする、比較的小さいポッケルス効果という結果となるが、入射角に対してロバスト性を提供する。

【0088】

図8、図9および図10は、照明系500を含んだ、さまざまな放射線生成システム800、900、および1000をそれぞれ示す。

【0089】

図8は、放射系800を示す。放射系800は、放射源SO、照明系500、および照明器ILを含む。放射源SOおよび照明系500は、照明器ILから分かれて位置している。たとえば、照明系500は、図1および図2におけるビーム搬送系BDの代わりに、またはそれに含まれて用いることができる。放射系SOは、直線的に(リニアに)偏光した放射ビーム510を生成し、これは、照明系500を用いて出力ビーム518を形成する。

【0090】

図9は、放射系900を示す。放射系900は、照射デバイスRDと照明系500を備える放射源SOと、照明器ILとを含む。加えて、または代えて、放射系900において、ビーム搬送系BD(図示しないが、図1および図2参照)が、放射源SOと照明器ILの間に含まれてもよい。加えて、または代えて、ある放射源SOの作用が照明系500の前で発生し、ある作用が照明系500の後ろで発生してもよい。

【0091】

図10は、放射系1000を示す。放射系1000は、放射源SOと照明系500を備える照明器ILを有する。加えて、または代えて、照明系500に存在する光は、光学系(オプティクス)またはパターンングデバイス(図示しないが、図1および図2参照)上に導かれてもよい。加えて、または代えて、ある照明器ILの作用が照明系500の前で発生し、ある照明器ILの作用が照明系500の後ろで発生してもよい。

【0092】

加えて、または代えて、放射系800、900、および1000は、本発明の範囲を逸脱することなしに、露光装置の他の照明系、すなわち、露光照明系以外のアライメント照明系または検出システムなどに対して用いることができる。

【0093】

典型的な動作

図11は、出力ビームを生成するための方法1100を示すフローチャートである。たとえば、方法1100は、上述した、出力ビーム518を生成するシステムのいずれかを用いて実行することが可能である。ステップ1102において、偏光した放射ビームが結晶水晶で形成された電気光学変調器を用いて変調される。ステップ1104において、変調されたビームの第1部分がビームスプリッタを用いてビームダンプに導かれる。ステップ1106において、出力ビームが、ビームスプリッタを用いて、変調されたビームの第2部分から形成される。

【0094】

本説明においては露光装置の用途を特定の装置(たとえば集積回路やフラットパネルディスプレイ)の製造としているが、ここでの露光装置は他の用途にも適用することが可能であるものと理解されたい。他の用途としては、集積回路や光集積回路システム、磁区メモリ用ガイダンスおよび検出パターン、フラットパネルディスプレイ、液晶ディスプレイ(LCD)、薄膜磁気ヘッド、微小電気機械素子(MEMS)、LEDなどの製造に用いることが可能であり、これらに限られない。また、たとえばフラットパネルディスプレイに関しては、本発明に係る装置は、たとえば薄膜トランジスタ層及び/またはカラーフィルタ層などのさまざまな層の製造に用いることができる。

【0095】

ここでは特に光学的なリソグラフィーを本発明に係る実施形態に適用したものを例として説明しているが、本発明は例えばインプリントリソグラフィーなど文脈が許す限り他に

10

20

30

40

50

も適用可能であり、光学的なリソグラフィーに限られるものではない。インプリントリソグラフィーでは、パターニング用デバイスのトポグラフィーが基板に生成されるパターンを決める。パターニング用デバイスのトポグラフィーが基板に塗布されているレジスト層に押し付けられ、電磁放射や熱、圧力、あるいはこれらの組み合わせによってレジストが硬化される。レジストが硬化されてから、パターニング用デバイスは、パターンが生成されたレジストから外されて外部に移動される。

【 0 0 9 6 】

結語

本発明の種々の実施例を上に記載したが、それらはあくまでも例示であって、それらに限定されるものではない。本発明の精神と範囲に反することなく種々に変更することができるということは、関連技術の当業者には明らかなことである。本発明の範囲と精神は上記で述べた例示に限定されるものではなく、請求項とその均等物によってのみ定義されるものである。

10

【 0 0 9 7 】

「課題を解決する手段」及び「要約書」の項ではなく「発明の詳細な説明」の項が請求項を解釈するのに使用されるように意図されていることを理解されたい。「課題を解決する手段」及び「要約書」の欄は本発明者が考えた本発明の実施例の1つ以上を示すものであるが、すべてを説明するものではない。よって、本発明及び請求項をいかなる形にも限定するものではない。

【図面の簡単な説明】

20

【 0 0 9 8 】

【図1】本発明の各実施形態に係る露光装置を示す図である。

【図2】本発明の各実施形態に係る露光装置を示す図である。

【図3】図2に示される本発明の一実施形態により基板にパターンを転写する1つのモードを示す図である。

【図4】本発明の一実施形態に係る光学エンジンの配置を示す図である。

【図5】照明系の一部を示す図である。

【図6】典型的な電気光学変調器を示す図である。

【図7】典型的な電気光学変調器における透過率対電圧のグラフを示す図である。

【図8】図5の照明系を含む放射線生成システムを示す図である。

30

【図9】図5の照明系を含む放射線生成システムを示す図である。

【図10】図5の照明系を含む放射線生成システムを示す図である。

【図11】方法を表すフローチャートを示す図である。

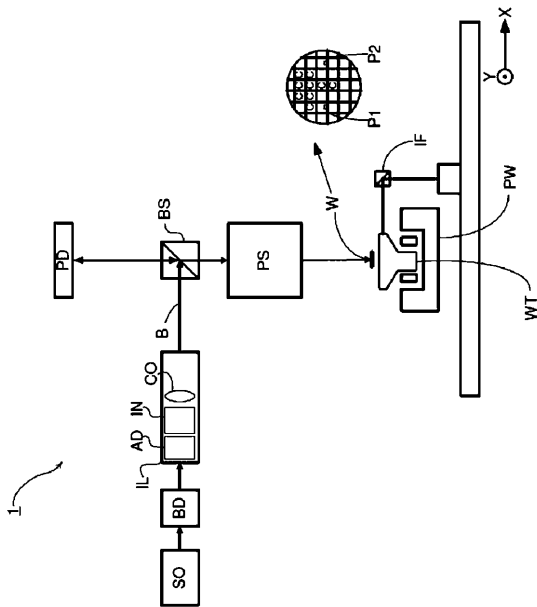
【符号の説明】

【 0 0 9 9 】

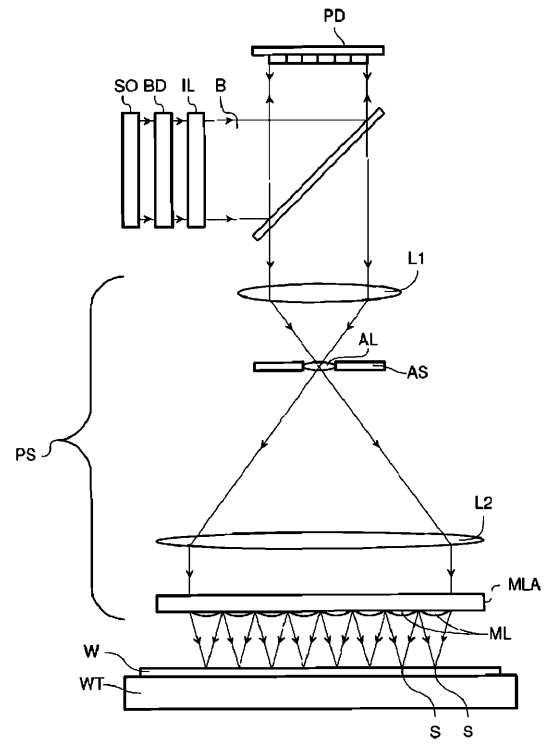
5 0 0 照明系、 5 0 2 電気光学変調器、 5 0 4 光学的補償デバイス、 5 0 6 ビームスプリッタ、 5 1 0 ビーム、 5 1 2 変調ビーム、 5 1 4 補償ビーム、 5 0 8 ビームダンプ、 6 0 2 電気光学変調器、 6 3 0 電源、 6 3 6 e / o エレメント、 8 0 0、 9 0 0、 1 0 0 0 放射系、 B 放射ビーム、 C 目標部分、 I L 照明光学系、 P D パターニング用デバイス、 P S 投影光学系、 S O 放射源、 W 基板、 W T 基板テーブル。

40

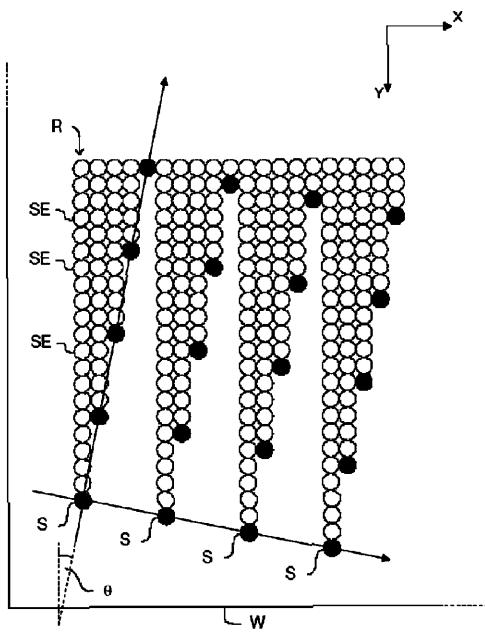
【図 1】



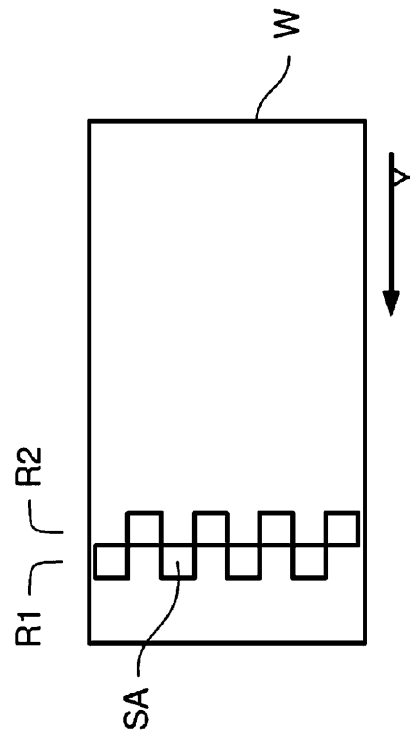
【図 2】



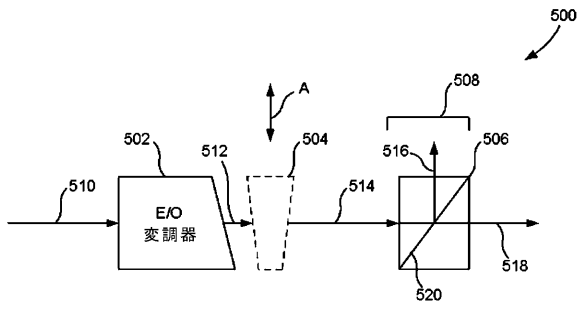
【図 3】



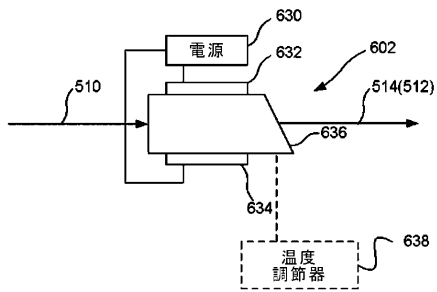
【図 4】



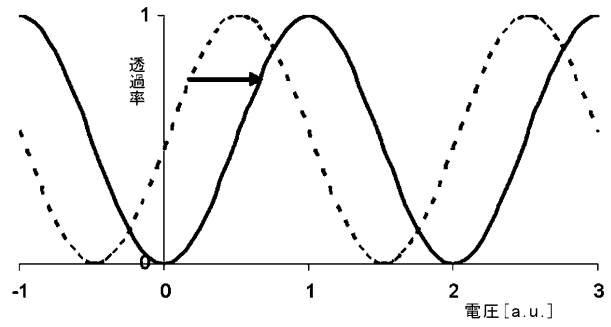
【図 5】



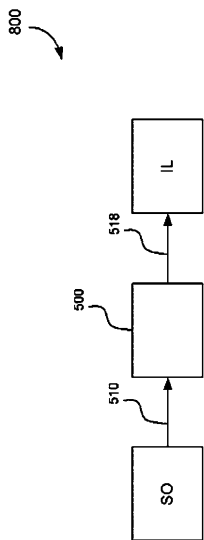
【図 6】



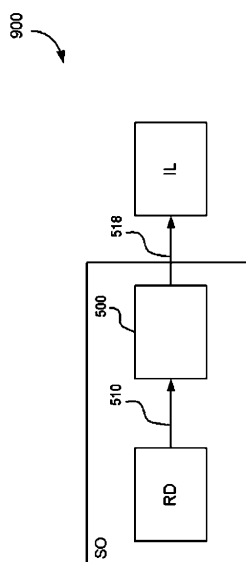
【図 7】



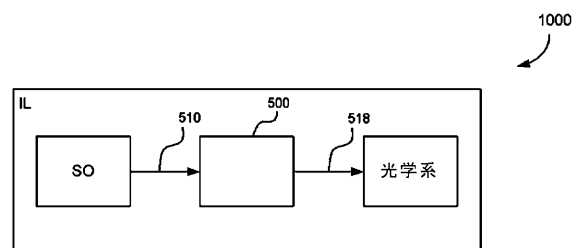
【図 8】



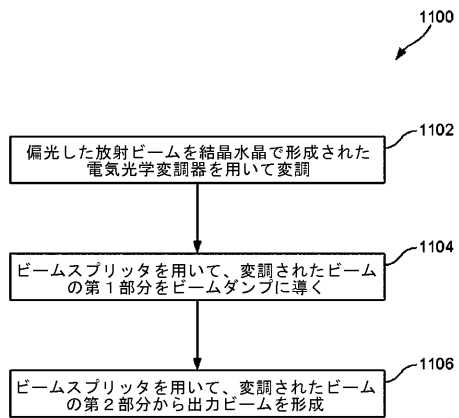
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

- (72)発明者 ヘンリ ヨハネス ペトルス ヴィンク
オランダ国 デン ハーグ 2 5 4 8 ダブルジー ゴットランド 2 2
- (72)発明者 マルクス ヘーラルダス ヘンドリクス メイエリンク
オランダ国 デン ハーグ 2 5 2 5 ゼットゼット ティル プラグマンプラントソーエン 5
5
- (72)発明者 コエンラード レミ アンドレ マリア スフレール
オランダ国 ヴェルトホーフェン 5 5 0 8 エルジェイ パトレイス 4 5
- (72)発明者 コーネリス コーネリア デ プリャエイン
オランダ国 スプルンデル 4 7 1 4 ビーエイ ピータレンストラート 1 1
- F ターム(参考) 2H097 AA03 AB05 BB01 CA13 CA17 GB04 LA11
5F046 BA07 CA03 CB01 CB07 CB18 DA01 DA02

【 外国語明細書 】

P-2651.010-JP

RADIATION BEAM PULSE TRIMMING

Inventors: Oscar Franciscus Jozephus Noordman
Henri Johannes Petrus Vink
Huibert Visser
Marco Meijerink
Koen Schreel
Rene de Bruijn

BACKGROUND

Field of the Invention

[0001] The present invention relates to radiation systems.

Related Art

[0002] A lithographic apparatus is a machine that applies a desired pattern onto a substrate or part of a substrate. A lithographic apparatus can be used, for example, in the manufacture of flat panel displays, integrated circuits (ICs) and other devices involving fine structures. In a conventional apparatus, a patterning device, which can be referred to as a mask or a reticle, can be used to generate a circuit pattern corresponding to an individual layer of a flat panel display (or other device). This pattern can be transferred onto all or part of the substrate (e.g., a glass plate), by imaging onto a layer of radiation-sensitive material (e.g., resist) provided on the substrate.

[0003] Instead of a circuit pattern, the patterning device can be used to generate other patterns, for example a color filter pattern or a matrix of dots. Instead of a mask, the patterning device can be a patterning array that comprises an array of individually controllable elements. The pattern can be changed more quickly and for less cost in such a system compared to a mask-based system.

[0004] A flat panel display substrate is typically rectangular in shape. Lithographic apparatus designed to expose a substrate of this type can provide an exposure region that covers a full width of the rectangular substrate, or covers a portion of the width (for example half of the width). The substrate can be scanned underneath the exposure region, while the mask or reticle is synchronously scanned through a beam. In this way, the pattern is transferred

P-2651.010-JP

2

to the substrate. If the exposure region covers the full width of the substrate then exposure can be completed with a single scan. If the exposure region covers, for example, half of the width of the substrate, then the substrate can be moved transversely after the first scan, and a further scan is typically performed to expose the remainder of the substrate.

[0005] Typically, lithography systems use lasers as radiation sources to produce an illumination beam. The lasers typically are comprised of an oscillator, while high power lasers are comprised of a master oscillator, which generates a beam of radiation, and a power amplifier, which amplifies the beam. The amplified beam is output as the laser beam. These lasers have a random variation in pulse energy, and also in other parameters of the beam, such as position, pointing, size, and divergence.

[0006] For mask based lithography system, the mask is imaged on the wafer using several tens of laser pulses. During wafer exposure, control algorithms maintain the pulse energy, beam position, and beam pointing at an illuminator entrance (averaged over the amount of pulses in the exposure) within desired tolerances.

[0007] However, for a maskless lithography system, the desired scenario (because of throughput reasons) is that the pattern or patterning device is imaged on the substrate in a single pulse. Lasers have an energy variation for a single pulse of up to about +/- 10%, which is too large for single pulse exposure. Thus, it is no longer possible to rely on a control algorithms that compensate for deviations of previous pulses and the averaging effect over the amount of pulses in the exposure because they are no longer applicable. In addition to the pulse energy stability, the stability of the laser beam shape (e.g., position, pointing, size, and divergence) needs to be improved for a maskless system.

[0008] Reduction in pulse energy variation can be performed through trimming of the energy of an individual pulse using a fast detector and a fast optical shutter (e.g., both having nano-second response time) in combination with an optical delay line. For example, this is done in U.S. Patent No. 5,852,621, which is incorporated by reference herein in its entirety. The fast optical shutter can be a Pockels cell that uses an electro-optic material, e.g., an

P-2651.010-JP

3

electro-optical modulator. The Pockels cell has been made from materials such as Potassium Di-hydrogen Phosphate (KDP) and Lithium Triborate (LBO). The problem is that these materials may not provide application specific acceptable performance at the smaller and smaller wavelengths being used today in lithography systems to form smaller and smaller elements. For example, at wavelengths of 193 nm and below these materials may exhibit less efficient transmission and/or may have a short lifetime.

[0009] Therefore, what is needed is a system and method that produce a radiation beam having better pulse-to-pulse uniformity for small wavelengths.

SUMMARY

[0010] In one embodiment of the present invention, there is provided a system comprising a radiation source, an electro-optical modulator, and a beam splitter. The radiation source is configured to generate a polarized beam of radiation. The electro-optical modulator, formed of crystalline quartz, is configured to modulate the beam of radiation. The beam splitter is configured to direct a first portion of the beam to a beam dump and to form an output beam from a second portion of the beam.

[0011] Additionally, or alternatively, the system can include a laser. Additionally, or alternatively, the system can include an illuminator.

[0012] Additionally, or alternatively, the system can be located within a lithography system, which includes a patterning device and a projection system. In this example, an illumination beam is formed from the output beam. The illumination beam is directed to be patterned by the patterning device, and the projection system projects the patterned beam onto a substrate.

[0013] In another embodiment, there is provided a device manufacturing method. A polarized beam of radiation is modulated using an electro-optical modulator formed of crystalline quartz. A first portion of the modulated beam is directed to a beam dump using a beam splitter. An output beam is formed from a second portion of the modulated beam using the beam splitter.

[0014] Additionally, or alternatively, the output beam is used as an illumination beam in lithography. The illumination beam is patterned. The patterned beam is projected onto a target portion of a substrate.

P-2651.010-JP

4

[0015] Further embodiments, features, and advantages of the present invention, as well as the structure and operation of the various embodiments of the present invention, are described in detail below with reference to the accompanying drawings.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS/FIGURES

[0016] The accompanying drawings, which are incorporated herein and form a part of the specification, illustrate one or more embodiments of the present invention and, together with the description, further serve to explain the principles of the invention and to enable a person skilled in the pertinent art to make and use the invention.

[0017] Figures 1 and 2 depict lithographic apparatus, according to various embodiments of the present invention.

[0018] Figure 3 depicts a mode of transferring a pattern to a substrate according to one embodiment of the invention as shown in Figure 2.

[0019] Figure 4 depicts an arrangement of optical engines, according to one embodiment of the present invention.

[0020] Figure 5 shows a portion of an illumination system.

[0021] Figure 6 shows an exemplary electro-optical modulator.

[0022] Figure 7 shows a graph of transmission versus voltage for an exemplary electro-optical modulator.

[0023] Figures 8, 9, and 10 show various radiation producing systems including the illumination system of Figure 5.

[0024] Figure 11 is a flowchart depicting a method.

[0025] One or more embodiments of the present invention will now be described with reference to the accompanying drawings. In the drawings, like reference numbers can indicate identical or functionally similar elements. Additionally, the left-most digit(s) of a reference number can identify the drawing in which the reference number first appears.

P-2651.010-JP

5

DETAILED DESCRIPTION

- [0026] This specification discloses one or more embodiments that incorporate the features of this invention. The disclosed embodiment(s) merely exemplify the invention. The scope of the invention is not limited to the disclosed embodiment(s). The invention is defined by the claims appended hereto.
- [0027] The embodiment(s) described, and references in the specification to "one embodiment", "an embodiment", "an example embodiment", etc., indicate that the embodiment(s) described may include a particular feature, structure, or characteristic, but every embodiment may not necessarily include the particular feature, structure, or characteristic. Moreover, such phrases are not necessarily referring to the same embodiment. Further, when a particular feature, structure, or characteristic is described in connection with an embodiment, it is understood that it is within the knowledge of one skilled in the art to effect such feature, structure, or characteristic in connection with other embodiments whether or not explicitly described.
- [0028] Figure 1 schematically depicts the lithographic apparatus 1 of one embodiment of the invention. The apparatus comprises an illumination system IL, a patterning device PD, a substrate table WT, and a projection system PS. The illumination system (illuminator) IL is configured to condition a radiation beam B (e.g., UV radiation).
- [0029] The patterning device PD (e.g., a reticle or mask or an array of individually controllable elements) modulates the beam. In general, the position of the array of individually controllable elements will be fixed relative to the projection system PS. However, it can instead be connected to a positioner configured to accurately position the array of individually controllable elements in accordance with certain parameters.
- [0030] The substrate table WT is constructed to support a substrate (e.g., a resist-coated substrate) W and connected to a positioner PW configured to accurately position the substrate in accordance with certain parameters.
- [0031] The projection system (e.g., a refractive projection lens system) PS is configured to project the beam of radiation modulated by the array of

P-2651.010-JP

6

individually controllable elements onto a target portion C (e.g., comprising one or more dies) of the substrate W.

[0032] The illumination system can include various types of optical components, such as refractive, reflective, magnetic, electromagnetic, electrostatic or other types of optical components, or any combination thereof, for directing, shaping, or controlling radiation.

[0033] The term "patterning device" or "contrast device" used herein should be broadly interpreted as referring to any device that can be used to modulate the cross-section of a radiation beam, such as to create a pattern in a target portion of the substrate. The devices can be either static patterning devices (e.g., masks or reticles) or dynamic (e.g., arrays of programmable elements) patterning devices. For brevity, most of the description will be in terms of a dynamic patterning device, however it is to be appreciated that a static pattern device can also be used without departing from the scope of the present invention.

[0034] It should be noted that the pattern imparted to the radiation beam may not exactly correspond to the desired pattern in the target portion of the substrate, for example if the pattern includes phase-shifting features or so called assist features. Similarly, the pattern eventually generated on the substrate may not correspond to the pattern formed at any one instant on the array of individually controllable elements. This can be the case in an arrangement in which the eventual pattern formed on each part of the substrate is built up over a given period of time or a given number of exposures during which the pattern on the array of individually controllable elements and/or the relative position of the substrate changes.

[0035] Generally, the pattern created on the target portion of the substrate will correspond to a particular functional layer in a device being created in the target portion, such as an integrated circuit or a flat panel display (e.g., a color filter layer in a flat panel display or a thin film transistor layer in a flat panel display). Examples of such patterning devices include, e.g., reticles, programmable mirror arrays, laser diode arrays, light emitting diode arrays, grating light valves, and LCD arrays.

P-2651.010-JP

7

- [0036] Patterning devices whose pattern is programmable with the aid of electronic means (e.g., a computer), such as patterning devices comprising a plurality of programmable elements (e.g., all the devices mentioned in the previous sentence except for the reticle), are collectively referred to herein as "contrast devices." In various examples, the patterning device comprises at least 10 programmable elements, e.g., at least 100, at least 1,000, at least 10,000, at least 100,000, at least 1,000,000, or at least 10,000,000 programmable elements.
- [0037] A programmable mirror array can comprise a matrix-addressable surface having a viscoelastic control layer and a reflective surface. The basic principle behind such an apparatus is that, e.g., addressed areas of the reflective surface reflect incident light as diffracted light, whereas unaddressed areas reflect incident light as undiffracted light. Using an appropriate spatial filter, the undiffracted light can be filtered out of the reflected beam, leaving only the diffracted light to reach the substrate. In this manner, the beam becomes patterned according to the addressing pattern of the matrix-addressable surface.
- [0038] It will be appreciated that, as an alternative, the filter can filter out the diffracted light, leaving the undiffracted light to reach the substrate.
- [0039] An array of diffractive optical MEMS devices (micro-electro-mechanical system devices) can also be used in a corresponding manner. In one example, a diffractive optical MEMS device is composed of a plurality of reflective ribbons that can be deformed relative to one another to form a grating that reflects incident light as diffracted light.
- [0040] A further alternative example of a programmable mirror array employs a matrix arrangement of tiny mirrors, each of which can be individually tilted about an axis by applying a suitable localized electric field, or by employing piezoelectric actuation means. Once again, the mirrors are matrix-addressable, such that addressed mirrors reflect an incoming radiation beam in a different direction than unaddressed mirrors; in this manner, the reflected beam can be patterned according to the addressing pattern of the matrix-addressable mirrors. The required matrix addressing can be performed using suitable electronic means.

P-2651.010-JP

8

- [0041] Another example PD is a programmable LCD array.
- [0042] The lithographic apparatus can comprise one or more contrast devices. For example, it can have a plurality of arrays of individually controllable elements, each controlled independently of each other. In such an arrangement, some or all of the arrays of individually controllable elements can have at least one of a common illumination system (or part of an illumination system), a common support structure for the arrays of individually controllable elements, and/or a common projection system (or part of the projection system).
- [0043] In an example, such as the embodiment depicted in Figure 1, the substrate W has a substantially circular shape, optionally with a notch and/or a flattened edge along part of its perimeter. In one example, the substrate has a polygonal shape, e.g., a rectangular shape.
- [0044] Examples where the substrate has a substantially circular shape include examples where the substrate has a diameter of at least 25mm, for instance at least 50mm, at least 75mm, at least 100mm, at least 125mm, at least 150mm, at least 175mm, at least 200mm, at least 250mm, or at least 300mm. In one embodiment, the substrate has a diameter of at most 500mm, at most 400mm, at most 350mm, at most 300mm, at most 250mm, at most 200mm, at most 150mm, at most 100mm, or at most 75mm.
- [0045] Examples where the substrate is polygonal, e.g., rectangular, include examples where at least one side, e.g., at least 2 sides or at least 3 sides, of the substrate has a length of at least 5cm, e.g., at least 25cm, at least 50cm, at least 100cm, at least 150cm, at least 200cm, or at least 250cm.
- [0046] In one example, at least one side of the substrate has a length of at most 1000cm, e.g., at most 750cm, at most 500cm, at most 350cm, at most 250cm, at most 150cm, or at most 75cm.
- [0047] In one example, the substrate W is a wafer, for instance a semiconductor wafer. In one example, the wafer material is selected from the group consisting of Si, SiGe, SiGeC, SiC, Ge, GaAs, InP, and InAs. The wafer may be: a III/V compound semiconductor wafer, a silicon wafer, a ceramic substrate, a glass substrate, or a plastic substrate. The substrate may be transparent (for the naked human eye), colored, or absent a color.

P-2651.010-JP

9

- [0048] The thickness of the substrate can vary and, to an extent, can depend, e.g., on the substrate material and/or the substrate dimensions. In one example, the thickness is at least 50 μ m, e.g., at least 100 μ m, at least 200 μ m, at least 300 μ m, at least 400 μ m, at least 500 μ m, or at least 600 μ m. The thickness of the substrate may be at most 5000 μ m, e.g., at most 3500 μ m, at most 2500 μ m, at most 1750 μ m, at most 1250 μ m, at most 1000 μ m, at most 800 μ m, at most 600 μ m, at most 500 μ m, at most 400 μ m, or at most 300 μ m.
- [0049] The substrate referred to herein can be processed, before or after exposure, in for example a track (a tool that typically applies a layer of resist to a substrate and develops the exposed resist), a metrology tool, and/or an inspection tool. In one example, a resist layer is provided on the substrate.
- [0050] The term "projection system" used herein should be broadly interpreted as encompassing any type of projection system, including refractive, reflective, catadioptric, magnetic, electromagnetic and electrostatic optical systems, or any combination thereof, as appropriate for the exposure radiation being used, or for other factors such as the use of an immersion liquid or the use of a vacuum. Any use of the term "projection lens" herein can be considered as synonymous with the more general term "projection system."
- [0051] The projection system can image the pattern on the array of individually controllable elements, such that the pattern is coherently formed on the substrate. Alternatively, the projection system can image secondary sources for which the elements of the array of individually controllable elements act as shutters. In this respect, the projection system can comprise an array of focusing elements such as a micro lens array (known as an MLA) or a Fresnel lens array, e.g., to form the secondary sources and to image spots onto the substrate. In one example, the array of focusing elements (e.g., MLA) comprises at least 10 focus elements, e.g., at least 100 focus elements, at least 1,000 focus elements, at least 10,000 focus elements, at least 100,000 focus elements, or at least 1,000,000 focus elements. In one example, the number of individually controllable elements in the patterning device is equal to or greater than the number of focusing elements in the array of focusing elements. In one example, one or more (e.g., 1,000 or more, the majority, or about each) of the focusing elements in the array of focusing elements can be

P-2651.010-JP

10

optically associated with one or more of the individually controllable elements in the array of individually controllable elements, e.g., with 2 or more of the individually controllable elements in the array of individually controllable elements, such as 3 or more, 5 or more, 10 or more, 20 or more, 25 or more, 35 or more, or 50 or more. In one example, the MLA is movable (e.g., with the use of one or more actuators) at least in the direction to and away from the substrate. Being able to move the MLA to and away from the substrate allows, e.g., for focus adjustment without having to move the substrate.

[0052] As herein depicted in Figures 1 and 2, the apparatus is of a reflective type (e.g., employing a reflective array of individually controllable elements). Alternatively, the apparatus can be of a transmission type (e.g., employing a transmission array of individually controllable elements).

[0053] The lithographic apparatus can be of a type having two (dual stage) or more substrate tables. In such "multiple stage" machines, the additional tables can be used in parallel, or preparatory steps can be carried out on one or more tables while one or more other tables are being used for exposure.

[0054] The lithographic apparatus can also be of a type wherein at least a portion of the substrate can be covered by an "immersion liquid" having a relatively high refractive index, e.g., water, so as to fill a space between the projection system and the substrate. An immersion liquid can also be applied to other spaces in the lithographic apparatus, for example, between the patterning device and the projection system. Immersion techniques are well known in the art for increasing the numerical aperture of projection systems. The term "immersion" as used herein does not mean that a structure, such as a substrate, must be submerged in liquid, but rather only means that liquid is located between the projection system and the substrate during exposure.

[0055] Referring again to Figure 1, the illuminator IL receives a radiation beam from a radiation source SO. In one example, the radiation source provides radiation having a wavelength of at least 5 nm, e.g., at least 10nm, at least 11-13 nm, at least 50nm, at least 100nm, at least 150nm, at least 175nm, at least 200nm, at least 250nm, at least 275 nm, at least 300nm, at least 325nm, at least 350nm, or at least 360nm. In one example, the radiation provided by radiation source SO has a wavelength of at most 450nm, e.g., at

P-2651.010-JP

11

most 425nm, at most 375nm, at most 360nm, at most 325nm, at most 275nm, at most 250nm, at most 225nm, at most 200nm, or at most 175nm. In one example, the radiation has a wavelength including 436nm, 405nm, 365nm, 355nm, 248nm, 193 nm, 157nm, and/or 126 nm. In one example, the radiation includes a wavelength of around 365nm or around 355nm. In one example, the radiation includes a broad band of wavelengths, for example encompassing 365, 405, and 436nm. A 355nm laser source could be used. The source and the lithographic apparatus can be separate entities, for example when the source is an excimer laser. In such cases, the source is not considered to form part of the lithographic apparatus and the radiation beam is passed from the source SO to the illuminator IL with the aid of a beam delivery system BD comprising, for example, suitable directing mirrors and/or a beam expander. In other cases the source can be an integral part of the lithographic apparatus, for example when the source is a mercury lamp. The source SO and the illuminator IL, together with the beam delivery system BD if required, can be referred to as a radiation system.

[0056] The illuminator IL, can comprise an adjuster AD for adjusting the angular intensity distribution of the radiation beam. Generally, at least the outer and/or inner radial extent (commonly referred to as σ -outer and σ -inner, respectively) of the intensity distribution in a pupil plane of the illuminator can be adjusted. In addition, the illuminator IL can comprise various other components, such as an integrator IN and a condenser CO. The illuminator can be used to condition the radiation beam to have a desired uniformity and intensity distribution in its cross-section. The illuminator IL, or an additional component associated with it, can also be arranged to divide the radiation beam into a plurality of sub-beams that can, for example, each be associated with one or a plurality of the individually controllable elements of the array of individually controllable elements. A two-dimensional diffraction grating can, for example, be used to divide the radiation beam into sub-beams. In the present description, the terms "beam of radiation" and "radiation beam" encompass, but are not limited to, the situation in which the beam is comprised of a plurality of such sub-beams of radiation.

P-2651.010-JP

12

[0057] The radiation beam B is incident on the patterning device PD (e.g., an array of individually controllable elements) and is modulated by the patterning device. Having been reflected by the patterning device PD, the radiation beam B passes through the projection system PS, which focuses the beam onto a target portion C of the substrate W. With the aid of the positioner PW and position sensor IF2 (e.g., an interferometric device, linear encoder, capacitive sensor, or the like), the substrate table WT can be moved accurately, e.g., so as to position different target portions C in the path of the radiation beam B. Where used, the positioning means for the array of individually controllable elements can be used to correct accurately the position of the patterning device PD with respect to the path of the beam B, e.g., during a scan.

[0058] In one example, movement of the substrate table WT is realized with the aid of a long-stroke module (course positioning) and a short-stroke module (fine positioning), which are not explicitly depicted in Figure 1. In another example, a short stroke stage may not be present. A similar system can also be used to position the array of individually controllable elements. It will be appreciated that the beam B can alternatively/additionally be moveable, while the object table and/or the array of individually controllable elements can have a fixed position to provide the required relative movement. Such an arrangement can assist in limiting the size of the apparatus. As a further alternative, which can, e.g., be applicable in the manufacture of flat panel displays, the position of the substrate table WT and the projection system PS can be fixed and the substrate W can be arranged to be moved relative to the substrate table WT. For example, the substrate table WT can be provided with a system for scanning the substrate W across it at a substantially constant velocity.

[0059] As shown in Figure 1, the beam of radiation B can be directed to the patterning device PD by means of a beam splitter BS configured such that the radiation is initially reflected by the beam splitter and directed to the patterning device PD. It should be realized that the beam of radiation B can also be directed at the patterning device without the use of a beam splitter. In one example, the beam of radiation is directed at the patterning device at an angle between 0 and 90°, e.g., between 5 and 85°, between 15 and 75°,

P-2651.010-JP

13

between 25 and 65°, or between 35 and 55° (the embodiment shown in Figure 1 is at a 90° angle). The patterning device PD modulates the beam of radiation B and reflects it back to the beam splitter BS which transmits the modulated beam to the projection system PS. It will be appreciated, however, that alternative arrangements can be used to direct the beam of radiation B to the patterning device PD and subsequently to the projection system PS. In particular, an arrangement such as is shown in Figure 1 may not be required if a transmission patterning device is used.

[0060] The depicted apparatus can be used in several modes:

[0061] 1. In step mode, the array of individually controllable elements and the substrate are kept essentially stationary, while an entire pattern imparted to the radiation beam is projected onto a target portion C at one go (i.e., a single static exposure). The substrate table WT is then shifted in the X and/or Y direction so that a different target portion C can be exposed. In step mode, the maximum size of the exposure field limits the size of the target portion C imaged in a single static exposure.

[0062] 2. In scan mode, the array of individually controllable elements and the substrate are scanned synchronously while a pattern imparted to the radiation beam is projected onto a target portion C (i.e., a single dynamic exposure). The velocity and direction of the substrate relative to the array of individually controllable elements can be determined by the (de-)magnification and image reversal characteristics of the projection system PS. In scan mode, the maximum size of the exposure field limits the width (in the non-scanning direction) of the target portion in a single dynamic exposure, whereas the length of the scanning motion determines the height (in the scanning direction) of the target portion.

[0063] 3. In pulse mode, the array of individually controllable elements is kept essentially stationary and the entire pattern is projected onto a target portion C of the substrate W using a pulsed radiation source. The substrate table WT is moved with an essentially constant speed such that the beam B is caused to scan a line across the substrate W. The pattern on the array of individually controllable elements is updated as required between pulses of the radiation system and the pulses are timed such that successive target portions

P-2651.010-JP

14

C are exposed at the required locations on the substrate W. Consequently, the beam B can scan across the substrate W to expose the complete pattern for a strip of the substrate. The process is repeated until the complete substrate W has been exposed line by line.

[0064] 4. Continuous scan mode is essentially the same as pulse mode except that the substrate W is scanned relative to the modulated beam of radiation B at a substantially constant speed and the pattern on the array of individually controllable elements is updated as the beam B scans across the substrate W and exposes it. A substantially constant radiation source or a pulsed radiation source, synchronized to the updating of the pattern on the array of individually controllable elements, can be used.

[0065] 5. In pixel grid imaging mode, which can be performed using the lithographic apparatus of Figure 2, the pattern formed on substrate W is realized by subsequent exposure of spots formed by a spot generator that are directed onto patterning device PD. The exposed spots have substantially the same shape. On substrate W the spots are printed in substantially a grid. In one example, the spot size is larger than a pitch of a printed pixel grid, but much smaller than the exposure spot grid. By varying intensity of the spots printed, a pattern is realized. In between the exposure flashes the intensity distribution over the spots is varied.

[0066] Combinations and/or variations on the above described modes of use or entirely different modes of use can also be employed.

[0067] In lithography, a pattern is exposed on a layer of resist on the substrate. The resist is then developed. Subsequently, additional processing steps are performed on the substrate. The effect of these subsequent processing steps on each portion of the substrate depends on the exposure of the resist. In particular, the processes are tuned such that portions of the substrate that receive a radiation dose above a given dose threshold respond differently to portions of the substrate that receive a radiation dose below the dose threshold. For example, in an etching process, areas of the substrate that receive a radiation dose above the threshold are protected from etching by a layer of developed resist. However, in the post-exposure development, the portions of the resist that receive a radiation dose below the threshold are removed and

P-2651.010-JP

15

therefore those areas are not protected from etching. Accordingly, a desired pattern can be etched. In particular, the individually controllable elements in the patterning device are set such that the radiation that is transmitted to an area on the substrate within a pattern feature is at a sufficiently high intensity that the area receives a dose of radiation above the dose threshold during the exposure. The remaining areas on the substrate receive a radiation dose below the dose threshold by setting the corresponding individually controllable elements to provide a zero or significantly lower radiation intensity.

[0068] In practice, the radiation dose at the edges of a pattern feature does not abruptly change from a given maximum dose to zero dose even if the individually controllable elements are set to provide the maximum radiation intensity on one side of the feature boundary and the minimum radiation intensity on the other side. Instead, due to diffractive effects, the level of the radiation dose drops off across a transition zone. The position of the boundary of the pattern feature ultimately formed by the developed resist is determined by the position at which the received dose drops below the radiation dose threshold. The profile of the drop-off of radiation dose across the transition zone, and hence the precise position of the pattern feature boundary, can be controlled more precisely by setting the individually controllable elements that provide radiation to points on the substrate that are on or near the pattern feature boundary. These can be not only to maximum or minimum intensity levels, but also to intensity levels between the maximum and minimum intensity levels. This is commonly referred to as "grayscale."

[0069] Grayscale provides greater control of the position of the pattern feature boundaries than is possible in a lithography system in which the radiation intensity provided to the substrate by a given individually controllable element can only be set to two values (e.g., just a maximum value and a minimum value). In one embodiment, at least three different radiation intensity values can be projected onto the substrate, e.g., at least 4 radiation intensity values, at least 8 radiation intensity values, at least 16 radiation intensity values, at least 32 radiation intensity values, at least 64 radiation intensity values, at least 128 radiation intensity values, or at least 256 radiation intensity values.

P-2651.010-JP

16

[0070] It should be appreciated that grayscaling can be used for additional or alternative purposes to that described above. For example, the processing of the substrate after the exposure can be tuned, such that there are more than two potential responses of regions of the substrate, dependent on received radiation dose level. For example, a portion of the substrate receiving a radiation dose below a first threshold responds in a first manner; a portion of the substrate receiving a radiation dose above the first threshold but below a second threshold responds in a second manner; and a portion of the substrate receiving a radiation dose above the second threshold responds in a third manner. Accordingly, grayscaling can be used to provide a radiation dose profile across the substrate having more than two desired dose levels. In one embodiment, the radiation dose profile has at least 2 desired dose levels, e.g., at least 3 desired radiation dose levels, at least 4 desired radiation dose levels, at least 6 desired radiation dose levels or at least 8 desired radiation dose levels.

[0071] It should further be appreciated that the radiation dose profile can be controlled by methods other than by merely controlling the intensity of the radiation received at each point on the substrate, as described above. For example, the radiation dose received by each point on the substrate can alternatively or additionally be controlled by controlling the duration of the exposure of the point. As a further example, each point on the substrate can potentially receive radiation in a plurality of successive exposures. The radiation dose received by each point can, therefore, be alternatively or additionally controlled by exposing the point using a selected subset of the plurality of successive exposures.

[0072] In order to form the required pattern on the substrate, it is necessary to set each of the individually controllable elements in the patterning device to the requisite state at each stage during the exposure process. Therefore, control signals, representing the requisite states, must be transmitted to each of the individually controllable elements. In one example, the lithographic apparatus includes a controller that generates the control signals. The pattern to be formed on the substrate can be provided to the lithographic apparatus in a vector-defined format, such as GDSII. In order to convert the design

P-2651.010-JP

17

information into the control signals for each individually controllable element, the controller includes one or more data manipulation devices, each configured to perform a processing step on a data stream that represents the pattern. The data manipulation devices can collectively be referred to as the "datapath."

[0073] The data manipulation devices of the datapath can be configured to perform one or more of the following functions: converting vector-based design information into bitmap pattern data; converting bitmap pattern data into a required radiation dose map (e.g., a required radiation dose profile across the substrate); converting a required radiation dose map into required radiation intensity values for each individually controllable element; and converting the required radiation intensity values for each individually controllable element into corresponding control signals.

[0074] Figure 2 depicts an arrangement of the apparatus according to the present invention that can be used, e.g., in the manufacture of flat panel displays. Components corresponding to those shown in Figure 1 are depicted with the same reference numerals. Also, the above descriptions of the various embodiments, e.g., the various configurations of the substrate, the contrast device, the MLA, the beam of radiation, etc., remain applicable.

[0075] As shown in Figure 2, the projection system PS includes a beam expander, which comprises two lenses L1, L2. The first lens L1 is arranged to receive the modulated radiation beam B and focus it through an aperture in an aperture stop AS. A further lens AL can be located in the aperture. The radiation beam B then diverges and is focused by the second lens L2 (e.g., a field lens).

[0076] The projection system PS further comprises an array of lenses MLA arranged to receive the expanded modulated radiation B. Different portions of the modulated radiation beam B, corresponding to one or more of the individually controllable elements in the patterning device PD, pass through respective different lenses in the array of lenses MLA. Each lens focuses the respective portion of the modulated radiation beam B to a point which lies on the substrate W. In this way an array of radiation spots S is exposed onto the substrate W. It will be appreciated that, although only eight lenses of the

P-2651.010-JP

18

illustrated array of lenses 14 are shown, the array of lenses can comprise many thousands of lenses (the same is true of the array of individually controllable elements used as the patterning device PD).

[0077] Figure 3 illustrates schematically how a pattern on a substrate W is generated using the system of Figure 2, according to one embodiment of the present invention. The filled in circles represent the array of spots S projected onto the substrate W by the array of lenses MLA in the projection system PS. The substrate W is moved relative to the projection system PS in the Y direction as a series of exposures are exposed on the substrate W. The open circles represent spot exposures SE that have previously been exposed on the substrate W. As shown, each spot projected onto the substrate by the array of lenses within the projection system PS exposes a row R of spot exposures on the substrate W. The complete pattern for the substrate is generated by the sum of all the rows R of spot exposures SE exposed by each of the spots S. Such an arrangement is commonly referred to as "pixel grid imaging," discussed above.

[0078] It can be seen that the array of radiation spots S is arranged at an angle θ relative to the substrate W (the edges of the substrate lie parallel to the X and Y directions). This is done so that when the substrate is moved in the scanning direction (the Y-direction), each radiation spot will pass over a different area of the substrate, thereby allowing the entire substrate to be covered by the array of radiation spots 15. In one example, the angle θ is at most 20° , 10° , e.g., at most 5° , at most 3° , at most 1° , at most 0.5° , at most 0.25° , at most 0.10° , at most 0.05° , or at most 0.01° . In one example, the angle θ is at least 0.001° .

[0079] Figure 4 shows schematically how an entire flat panel display substrate W can be exposed in a single scan using a plurality of optical engines, according to one embodiment of the present invention. In the example shown eight arrays SA of radiation spots S are produced by eight optical engines (not shown), arranged in two rows R1, R2 in a "chess board" configuration, such that the edge of one array of radiation spots (e.g., spots S in Figure 3) slightly overlaps (in the scanning direction Y) with the edge of the adjacent array of radiation spots. In one example, the optical engines are arranged in at least 3

P-2651.010-JP

19

rows, for instance 4 rows or 5 rows. In this way, a band of radiation extends across the width of the substrate W, allowing exposure of the entire substrate to be performed in a single scan. It will be appreciated that any suitable number of optical engines can be used. In one example, the number of optical engines is at least 1, e.g., at least 2, at least 4, at least 8, at least 10, at least 12, at least 14, or at least 17. In one example, the number of optical engines is less than 40, e.g., less than 30 or less than 20.

[0080] Each optical engine can comprise a separate illumination system IL, patterning device PD and projection system PS as described above. It is to be appreciated, however, that two or more optical engines can share at least a part of one or more of the illumination system, patterning device and projection system.

Exemplary Radiation Producing Arrangements

[0081] Figure 5 shows a portion of an illumination system 500. Illumination system 500 includes an electro-optical modulator 502 (hereinafter e/o modulator or modulator), an optional compensation device 504, a beam splitting device 506, and a beam dump 508. A beam 510 output from a radiation source (not shown, but see, e.g., radiation source SO in Figures 1 and 2) is modulated by e/o modulator 502 to produce modulated beam 512. For example, intensity, directivity, polarization, angle of transmittance, beam steering, etc. can all be modulated, as would be apparent to a skilled artisan upon reading and understanding this description. In one example, modulated beam 512 passes through compensator 504 to produce compensated beam 514, whose operation is described in more detail below. Otherwise, beam 512 and beam 514 are the same beam. Beam 514 is processed using beam splitter 506 to produce a first portion 516, which is directed towards beam dump 508, and a second portion 518, which forms an output beam. For example, as is known in the art, a surface 520 of beam splitter 506 allows for a certain amount of transmission and a certain amount of reflection of beam 514. This can be based on the material making up surface 520 or a material of a layer formed on surface 520. Beam splitter 506 can be made from any material that allows for proper transmission/reflection for a chosen wavelength of beam 514.

P-2651.010-JP

20

- [0082] Beam splitter 506 can be a polarizing beam splitter. Polarizing beam splitter 506 can be configured to produce first portion 516 from a first polarization direction of beam 514 and second portion 518 from a second polarization direction of beam 514.
- [0083] When used, compensation device 504 can be a wedge made from crystalline quartz (e.g., silicon dioxide in a crystalline structure). Compensation device 504 can move in the directions depicted by arrow A to adjust a path length of beam 512 through delaying of a time of travel of beam 512 to produce compensated beam 514.
- [0084] In one example, the path length must be the same for all parts of a laser beam. Otherwise different parts of the beam may have a different amount of phase retardation, and as a consequence a different polarization state after e-o modulator 502 and compensation device 504. Thus, if compensator wedge 504 is not used, the front and back side of the e-o modulator crystal 636 (see Figure 6) must be parallel. In the case when a compensator wedge is used, a front side of surface of material 636 and a backside surface of compensation device 504 should be parallel, and a backside surface of material 636 and a front side surface of compensation device 504 should be parallel.
- [0085] Figure 6 shows an exemplary electro-optical modulator 602. Figure 7 shows a graph of transmission versus voltage for a combination of electro-optical modulator 502 and polarizing beam splitter 506 during normal (solid line) and phase retarded (dashed line) operations. In one example, electro-optical modulator 602 can be considered, or also referred to as, a Pockels cell. Pockels cell 602 includes a power source 630 and first and second electrodes 632 and 634 coupled to opposite sides of an e/o element 636. A change in the voltage applied to e/o element 636 results in a change in the phase retardation between the ordinary and extraordinary waves of beam 510 as it passes through e/o element 636. The amount of phase retardation can also depend on crystal length of e/o element 636, a wavelength of beam 510, and/or temperature, for example a temperature of e/o element 636 as discussed below. The total phase retardation between the ordinary and extraordinary waves determines a polarization state of beam 512 at the output of e/o element 636. The polarization orientation of beam 514 (512) on beam splitter 506

P-2651.010-JP

21

determines a proportion of light transmitted through beam splitter 506 as output beam 518 and a proportion of light reflected from beam splitter 506 as beam 516. Consequently, the transmission efficiency of beam splitter 506 can be a function of the applied voltage on Pockels cell 602.

[0086] Additionally, in an optional arrangement, a temperature controller 638 (shown in phantom) can be coupled to Pockels cell 602. For example, this can be done to maintain a temperature of Pockels cell 602 at a specified temperature, e.g., an elevated temperature. In one example, the elevated temperature can be about 300° C. For example, by operating Pockels cell 602 at an elevated temperature, substantially no damage should occur to Pockels cell 602 the during transmission of radiation at about 193 nm. This may allow for operation of Pockels cell 602 for prolonged periods of time without degradation of transmissivity.

[0087] Referring to Figure 7, again this shows transmission versus voltage is for the combination of electro-optical modulator 502 and polarizing beam splitter 506 as shown in figure 5. This is because e-o modulator 502 typically changes the polarization of the beam and not the energy in beam.

[0088] Further explanation of the operation of other exemplary e/o modulators can be found, for example, in co-owned, co-pending applications 10/972,582, 11/005,222, and 11/039,900, which are all incorporated by reference herein in their entireties.

[0089] In one example, e/o element 636 is formed from crystalline quartz, which is known to have an electro-optic effect and a good transmission for wavelengths of 193 nm or less. For this reason crystalline quartz can be used for Pockels cell 602, such that it functions effectively at 193 nm. For similar reasons, as discussed above, crystalline quartz can be used to manufacture compensation device 504.

[0090] In an example in which Pockels cell 602 is used for a high speed application (e.g., pulse trimming), the switching of the Pockels cell 602 (switching the transmission from about 1 to 0, i.e., about 100% to 0%) must be done in about, e.g., 10 to about 30 nanoseconds or less. In this situation, it is desirable to switch from a predetermined first voltage to a zero voltage, and not between two arbitrary voltages. The value of the predetermined first

P-2651.010-JP

22

voltage can be based on a length of the crystal in e/o element 636 and the wavelength of beam 510. For example, as the length of the crystal in e/o element 636 becomes longer, then the value of the predetermined voltage becomes lower. Thus, there is a correlation between a length of the crystal in e/o element 636 and a predetermined first voltage to be applied.

[0091] Additionally, or alternatively, compensation device 504, e.g., a compensator wedge, can be used. Through moving compensator wedge 504 in the directions of arrow A in Figure 5, the overall phase retardation of beam 510 can be adjusted to have the zero transmission at zero applied voltage. Alternatively, the overall phase retardation of beam 510 can be adjusted to have substantially complete transmission (100%) at zero applied voltage. Changes in a wavelength of beam 510 and/or temperature of e/o element 636 that result in a phase retardation change can also be compensated for through proper positioning of compensation wedge 504 to produce a desired compensated beam 514.

[0092] Additionally, or alternatively, besides the electro-optic effect of Pockels cell 602, the crystalline quartz material of element 636 can also exhibit a piezo-electric effect. The piezo-electric effect can also be used to create a phase retardation change as a function of the applied voltage. For the high speed application discussed above and below, the piezo-electric effect is not fast enough. However, for applications that require a slower transition time for changing the transmission, as discussed below, the piezo-electric effect can be utilized to process beam 510 in a similar way as the electro-optic effect.

[0093] In one example, compared to KDP and LBO, the electro-optic effect in crystalline quartz of e/o element 636 is about a factor of 50 lower. What this means is that when a voltage is applied to e/o element 636, a change in an effective index of refraction for a same value of voltage is about a factor of 50 lower than that for the KDP.

[0094] It is to be appreciated that Pockels cell 602 can be used in multiple applications. One application can be in a fast digital mode, e.g., pulse energy trimming discussed above. For pulse energy trimming, the transmission of Pockels cell 602 has to go from maximum transmission (e.g., about 100%

P-2651.010-JP

23

transmission) to minimum transmission (e.g., about 0% transmission) in about, e.g., 10 to 30 ns or less. In this example, it is desired that Pockels cell 602 is this fast, otherwise the trimming of the pulse 510 may not be accurate enough.

[0095] Another application for using Pockels cell 602 is a slow analog mode. This mode can be utilized when two or three pulses are used in each exposure dose, for example as can be done in maskless lithography. A variable attenuation device, e.g., Pockels cell 602, is needed that can be set to any arbitrary transmission value for every laser pulse. If the laser operates at 6 kHz, the attenuation of beam 510 resulting from control of Pockels cell 602 must be changed about every 166 μ s.

[0096] Additionally, or alternatively, there may be a sensitivity of a Pockels effect for angle of incidence, since light may have some divergence. It appears for different crystal orientations, the Pockels effect is strongest for light traveling along the YZ-direction. In one example, a light path may be desired along the Y-direction. This may provide robustness for angle of incidence, although possibly resulting in a relatively smaller Pockels effect, which may result in needing a stronger E-field.

[0097] Figures 8, 9, and 10 show various radiation producing systems 800, 900, and 1000, respectively, including illumination system 500.

[0098] Figure 8 shows a radiation system 800. Radiation system 800 includes a radiation source SO, an illumination system 500, and an illuminator IL. Source SO and illumination system 500 are located separately from illuminator IL. For example, illumination system 500 can be used in place of, or included in, beam delivery system BD in Figures 1 and 2. Radiation source SO produces a linearly polarized radiation beam 510, which forms output beam 518 using illumination system 500.

[0100] Figure 9 shows a radiation system 900. Radiation system 900 includes a radiation SO, which comprises a radiation device RD and an illumination system 500, and an illuminator IL. Additionally, or alternatively, a beam delivery system BD (not shown, but see Figures 1 and 2) may also be included in radiation system 900 between radiation source SO and illuminator IL. Additionally, or alternatively, some source SO functions occur in front and some occur behind illumination system 500.

P-2651.010-JP

24

[0101] Figure 10 shows a radiation system 1000. Radiation system 1000 has an illuminator IL comprising a radiation source SO and an illumination system 500. Additionally, or alternatively, light exiting illumination system 500 may be directed onto optics or onto a patterning device (not shown, but see Figures 1 and 2). Additionally, or alternatively, some illuminator IL functions occur in front and some occur behind illumination system 500.

[0102] Alternatively, or additionally, radiation systems 800, 900, and 1000 can be used for other illumination systems of a lithography apparatus, i.e., other than an exposure illumination system, such as an alignment illumination system or detection system, without departing from the scope of the present invention.

Exemplary Operation

[0103] Figure 11 is a flowchart depicting a method 1100 for generating an output beam. For example, method 1100 can be performed using any one of the systems described above that produce output beam 518. In step 1102, a polarized beam of radiation is modulated using an electro-optical modulator formed of crystalline quartz. In step 1104, a first portion of the modulated beam is directed to a beam dump using a beam splitter. In step 1106, an output beam is formed from a second portion of the modulated beam using the beam splitter.

[0104] Although specific reference can be made in this text to the use of lithographic apparatus in the manufacture of a specific device (e.g., an integrated circuit or a flat panel display), it should be understood that the lithographic apparatus described herein can have other applications. Applications include, but are not limited to, the manufacture of integrated circuits, integrated optical systems, guidance and detection patterns for magnetic domain memories, flat-panel displays, liquid-crystal displays (LCDs), thin-film magnetic heads, micro-electromechanical devices (MEMS), light emitting diodes (LEDs), etc. Also, for instance in a flat panel display, the present apparatus can be used to assist in the creation of a variety of layers, e.g. a thin film transistor layer and/or a color filter layer.

P-2651.010-JP

25

[0105] Although specific reference is made above to the use of embodiments of the invention in the context of optical lithography, it will be appreciated that the invention can be used in other applications, for example imprint lithography, where the context allows, and is not limited to optical lithography. In imprint lithography a topography in a patterning device defines the pattern created on a substrate. The topography of the patterning device can be pressed into a layer of resist supplied to the substrate whereupon the resist is cured by applying electromagnetic radiation, heat, pressure or a combination thereof. The patterning device is moved out of the resist leaving a pattern in it after the resist is cured.

Conclusion

[0106] While various embodiments of the present invention have been described above, it should be understood that they have been presented by way of example only, and not limitation. It will be apparent to persons skilled in the relevant art that various changes in form and detail can be made therein without departing from the spirit and scope of the invention. Thus, the breadth and scope of the present invention should not be limited by any of the above-described exemplary embodiments, but should be defined only in accordance with the following claims and their equivalents.

[0107] It is to be appreciated that the Detailed Description section, and not the Summary and Abstract sections, is intended to be used to interpret the claims. The Summary and Abstract sections can set forth one or more, but not all exemplary embodiments of the present invention as contemplated by the inventor(s), and thus, are not intended to limit the present invention and the appended claims in any way.

P-2651.010-JP

26

What Is Claimed Is:

1. A system, comprising:
radiation source configured to generate a polarized beam of radiation;
an electro-optical modulator, formed of crystalline quartz, which is configured to modulate the beam of radiation; and
a beam splitter configured to direct a first portion of the beam to a beam dump and to form an output beam from a second portion of the beam.
2. The system of claim 1, wherein the electro-optical modulator comprises a Pockels cell.
3. The system of claim 1, wherein the beam splitter comprises a polarizing beam splitter, such that the polarizing beam splitter is configured to form the first portion of the beam from a first polarization direction of the polarized beam and the second portion of the beam from a second polarization direction of the polarized beam.
4. The system of claim 1, further comprising a compensation device positioned between the electro-optical modulator and the beam splitter.
5. The system of claim 4, wherein the compensation device comprises a moveable crystalline quartz wedge.
6. The system of claim 4, wherein the compensation device is configured to have zero transmission or substantially complete transmission when zero voltage is applied to the electro-optical modulator.
7. The system of claim 4, wherein the compensation device is configured to compensate for phase retardation changes caused by wavelength or temperature variation.

P-2651.010-JP

27

8. The system of claim 1, wherein the beam of radiation has a wavelength of about 193nm or less.

9. The system of claim 1, wherein the electro-optical modulator is biased between zero and a predetermined voltage.

10. The system of claim 1, wherein the electro-optical modulator transitions between about 100% and about 0% transmission in about 10 ns to about 30 ns or less.

11. The system of claim 1, further comprising:
a patterning device configured to pattern the output beam; and
a projection system configured to project the patterned beam onto a target portion of a substrate.

12. The system of claim 11 further comprising:
an illumination system that processes the output beam and directs the output beam onto the patterning device.

13. The system of claim 12, wherein the illumination system comprises the electro-optical modulator and the beam splitter.

14. A lithography system, comprising:
an illumination system configured to generate a polarized illumination beam of radiation, comprising,
an electro-optical modulator, formed of crystalline quartz, which is configured to modulate the beam of radiation; and
a beam splitter configured to direct a first portion of the beam to a beam dump and to form the illumination beam from a second portion of the beam,
a patterning device that patterns the illumination beam of radiation; and

P-2651.010-JP

28

a projection system that projects the patterned beam onto a target portion of a substrate.

15. The lithography system of claim 14, wherein the electro-optical modulator comprises a Pockels cell.

16. The lithography system of claim 14, wherein the beam splitter comprises a polarizing beam splitter, such that the polarizing beam splitter is configured to form the first portion of the beam from a first polarization direction of the polarized beam and the second portion of the beam from a second polarization direction of the polarized beam.

17. The lithography system of claim 14, further comprising a compensation device positioned between the electro-optical modulator and the beam splitter.

18. The lithography system of claim 17, wherein the compensation device comprises a moveable crystalline quartz wedge.

19. The lithography system of claim 17, wherein the compensation device is configured to have zero transmission or substantially complete transmission when zero voltage is applied to the electro-optical modulator.

20. The lithography system of claim 17, wherein the compensation device is configured to compensate for phase retardation changes caused by wavelength or temperature variation.

21. The lithography system of claim 14, wherein the beam of radiation has a wavelength of about 193nm or less.

22. The lithography system of claim 14, wherein the electro-optical modulator is biased between zero and a predetermined voltage.

P-2651.010-JP

29

23. The lithography system of claim 14, wherein the electro-optical modulator transitions between about 100% and about 0% transmission in about 10 ns to about 30 ns or less.

24. A method, comprising:

- (a) modulating a polarized beam of radiation using an electro-optical modulator formed of crystalline quartz;
- (b) directing a first portion of the modulated beam to a beam dump using a beam splitter; and
- (c) forming an output beam from a second portion of the modulated beam using the beam splitter.

25. The method of claim 24, wherein step (a) comprises using a Pockels cell for the electro-optical modulator.

26. The method of claim 24, wherein steps (b) and (c) comprise using a polarizing beam splitter, such that a first polarization direction of the polarized beam is used to form the first portion and a second polarization direction of the polarized beam is used to form the second portion of the beam.

27. The method of claim 24, further comprising positioning a compensation device between the electro-optical modulator and the beam splitter.

28. The method of claim 27, further comprising using a moveable crystalline quartz wedge as the compensation device.

29. The method of claim 27, wherein the compensation device has zero transmission or substantially complete transmission when zero voltage is applied to the electro-optical modulator.

P-2651.010-JP

30

30. The method of claim 27, wherein the compensation device compensates for phase retardation changes caused by wavelength or temperature variation.

31. The method of claim 24, further comprising using a wavelength of about 193nm or less for the beam of radiation.

32. The method of claim 24, further comprising biasing the electro-optical modulator between zero volts and a predetermined voltage.

33. The method of claim 24, further comprising transitioning the electro-optical modulator between about 100% to about 0% transmission in about 10 ns to about 30 ns or less.

34. The method of claim 24, further comprising:
(d) patterning the output beam; and
(e) projecting the patterned beam on a target portion of a substrate.

35. Forming an integrated circuit on a wafer using the method of claim 24.

36. Forming a flat panel device on a flat panel glass substrate using the method of claim 24.

37. A laser that outputs an output beam, comprising:
an electro-optical modulator, formed of crystalline quartz, which is configured to modulate a polarized beam of radiation; and
a beam splitter configured to direct a first portion of the beam to a beam dump and to form the output beam from a second portion of the beam.

P-2651.010-JP

31

38. The laser of claim 37, wherein the electro-optical modulator comprises a Pockels cell.

39. The laser of claim 37, wherein the beam splitter comprises a polarizing beam splitter, such that the polarizing beam splitter is configured to form the first portion of the beam from a first polarization direction of the polarized beam and the second portion of the beam from a second polarization direction of the polarized beam.

40. The laser of claim 37, further comprising a compensation device positioned between the electro-optical modulator and the beam splitter.

41. The laser of claim 40, wherein the compensation device comprises a moveable crystalline quartz wedge.

42. The laser of claim 40, wherein the compensation device is configured to have zero transmission or substantially complete transmission when zero voltage is applied to the electro-optical modulator.

43. The laser of claim 40, wherein the compensation device is configured to compensate for phase retardation changes caused by wavelength or temperature variation.

44. The laser of claim 37, wherein the beam of radiation has a wavelength of about 193nm or less.

45. The laser of claim 37, wherein the electro-optical modulator is biased between zero and a predetermined voltage.

46. The laser of claim 37, wherein the electro-optical modulator transitions between about 100% and about 0% transmission in about 10 ns to about 30 ns or less.

P-2651.010-JP

32

47. An illuminator that outputs a processed beam, comprising:
an electro-optical modulator, formed of crystalline quartz,
which is configured to modulate a polarized beam of radiation; and
a beam splitter configured to direct a first portion of the beam
to a beam dump and to form an output beam from a second portion of the
beam; and
an optical system configured to process the output beam to
produce the processed beam.
48. The illuminator of claim 47, wherein the electro-optical
modulator comprises a Pockels cell.
49. The illuminator of claim 47, wherein the beam splitter
comprises a polarizing beam splitter, such that the polarizing beam splitter
is configured to form the first portion of the beam from a first polarization
direction of the polarized beam and the second portion of the beam from a
second polarization direction of the polarized beam.
50. The illuminator of claim 47, further comprising a compensation
device positioned between the electro-optical modulator and the beam splitter.
51. The illuminator of claim 50, wherein the compensation device
comprises a moveable crystalline quartz wedge.
52. The s illuminator of claim 50, wherein the compensation device
is configured to have zero transmission or substantially complete transmission
when zero voltage is applied to the electro-optical modulator.
53. The illuminator of claim 50, wherein the compensation device
is configured to compensate for phase retardation changes caused by
wavelength or temperature variation.

P-2651.010-JP

33

54. The illuminator of claim 47, wherein the beam of radiation has a wavelength of about 193nm or less.

55. The illuminator of claim 47, wherein the electro-optical modulator is biased between zero and a predetermined voltage.

56. The illuminator of claim 47, wherein the electro-optical modulator transitions between about 100% and about 0% transmission in about 10 ns to about 30 ns or less.

57. The system of claim 1, wherein the electro-optical modulator is configured to modulate polarization characteristics of the beam of radiation.

58. The lithography system of claim 14, wherein the electro-optical modulator is configured to modulate polarization characteristics of the beam of radiation.

59. The method of claim 24, wherein step (a) modulates polarization characteristics of the beam of radiation.

60. The laser of claim 37, wherein the electro-optical modulator is configured to modulate polarization characteristics of the beam of radiation.

61. The illuminator of claim 47, wherein the electro-optical modulator is configured to modulate polarization characteristics of the beam of radiation.

62. The system of claim 1, wherein the electro-optical modulator is configured to operate at an elevated temperature.

63. The system of claim 62, wherein the elevated temperature is about 300° C.

P-2651.010-JP

34

64. The lithography system of claim 14, wherein the electro-optical modulator is configured to operate at an elevated temperature.

65. The lithography system of claim 64, wherein the elevated temperature is about 300° C.

66. The method of claim 24, further comprising maintaining the electro-optical modulator at an elevated temperature.

67. The method of claim 66, wherein the elevated temperature is about 300° C.

68. The laser of claim 37, wherein the electro-optical modulator is configured to operate at an elevated temperature.

69. The laser of claim 68, wherein the elevated temperature is about 300° C.

70. The illuminator of claim 47, wherein the electro-optical modulator is configured to operate at an elevated temperature.

71. The illuminator of claim 70, wherein the elevated temperature is about 300° C.

P-2651.010-JP

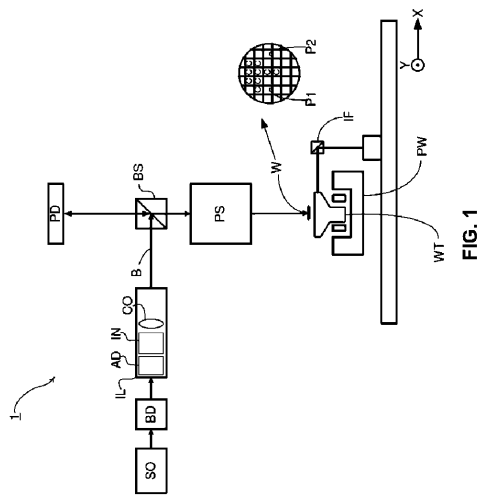
35

RADIATION BEAM PULSE TRIMMING

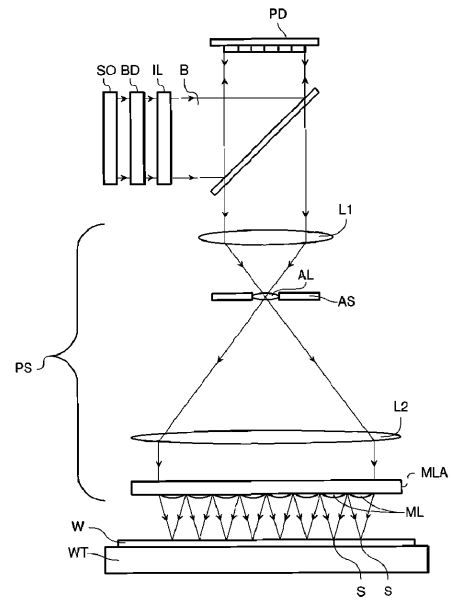
ABSTRACT

A system is used to perform fast and slow applications, for example fast application can be pulse trimming. The system includes a radiation source, an electro-optical modulator, and a beam splitter. The radiation source is configured to generate a polarized beam of radiation. The electro-optical modulator, formed of crystalline quartz, is configured to modulate the beam of radiation. The beam splitter is configured to direct a first portion of the beam to a beam dump and to form an output beam from a second portion of the beam.

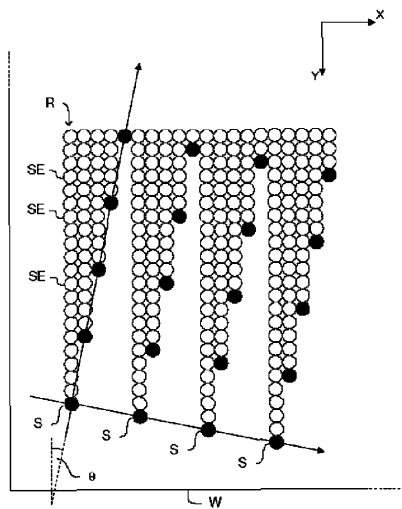
706974_1.DOC



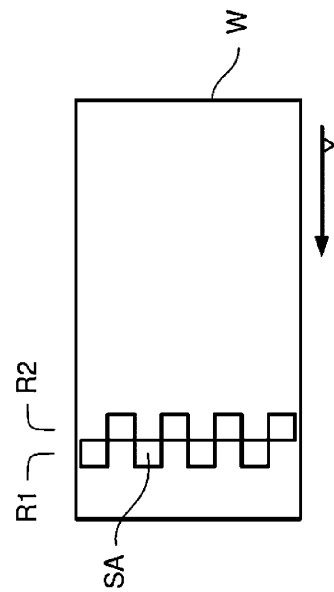
P-2651.010



P-2651.010



P-2651.010



P-2651.010

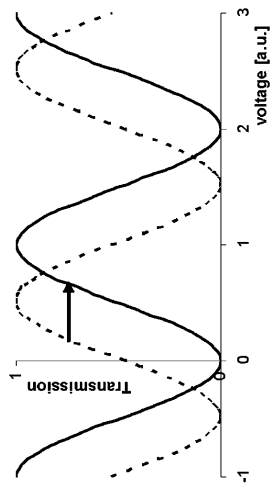


FIG. 7

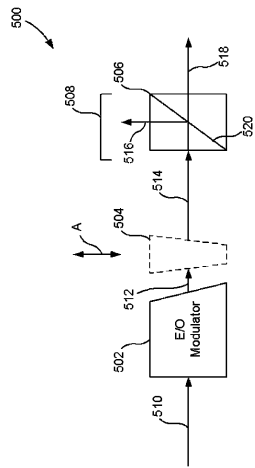


FIG. 5

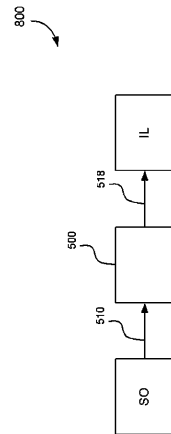


FIG. 8

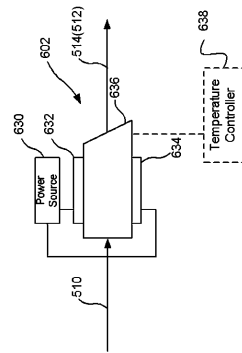
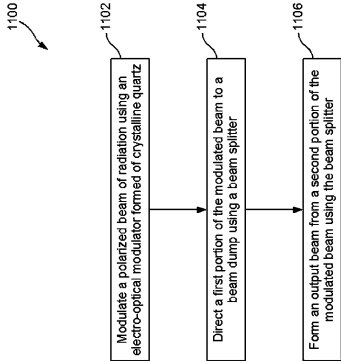
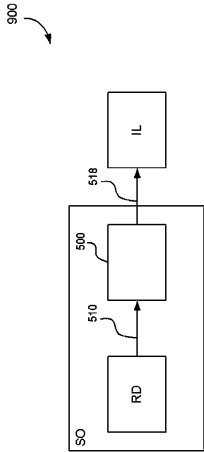


FIG. 6

P-2851.010



P-2851.010



P-2851.010

