

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5069367号
(P5069367)

(45) 発行日 平成24年11月7日 (2012. 11. 7)

(24) 登録日 平成24年8月24日 (2012. 8. 24)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 21/027 (2006. 01)	H O 1 L 21/30 5 3 1 S
H O 5 G 2/00 (2006. 01)	H O 5 G 1/00 K

請求項の数 9 外国語出願 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2011-204659 (P2011-204659)	(73) 特許権者	504151804
(22) 出願日	平成23年9月20日 (2011. 9. 20)		エーエスエムエル ネザーランズ ビー.
(62) 分割の表示	特願2009-542676 (P2009-542676)		ブイ.
原出願日	平成19年12月19日 (2007. 12. 19)		オランダ国 ヴェルトホーフェン 5 5 0
(65) 公開番号	特開2011-258990 (P2011-258990A)	(74) 代理人	100079108
(43) 公開日	平成23年12月22日 (2011. 12. 22)		弁理士 稲葉 良幸
審査請求日	平成23年9月20日 (2011. 9. 20)	(74) 代理人	100109346
(31) 優先権主張番号	11/641, 945		弁理士 大貫 敏史
(32) 優先日	平成18年12月20日 (2006. 12. 20)	(72) 発明者	イヴァノフ, ブラディミア, ヴィタレヴィ
(33) 優先権主張国	米国 (US)		ッチ
			ロシア連邦, モスクワ, 1 1 9 4 2 1, ノ
			ヴァトロヴ ストリート 3 6 - 3 - 3 3
			6

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ放射源における高速イオンの削減

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射源であって、

アノードおよびカソードの間の放電空間内の物質内に放電を作成し、またプラズマを形成して電磁放射を発生させるアノードおよびカソードと、

前記放電空間の付近の前記放射源における第1のスポット上に第1のエネルギーパルスを送導して前記放電をトリガする主プラズマチャネルを作成する第1の活性化源と、

前記放電空間の付近の前記放射源における第2のスポット上に第2のエネルギーパルスを送導して追加プラズマチャネルを作成する第2の活性化源であって、前記第2のスポットが前記第1のスポットとは異なるスポットであり、前記第2の活性化源が前記放電中に前記第2のエネルギーパルスを発生する、第2の活性化源と、

前記カソードおよび前記アノードの間に複数の小滴を射出する小滴生成ユニットと、
を含み、

前記第2の活性化源は、前記カソードおよび前記アノードの間に前記複数の小滴のうちの1つの小滴がある場合に、前記1つの小滴上に前記第2のエネルギーパルスを送導し、

前記アノードは液体ジェットアノードを含み、前記カソードは液体ジェットカソードを含む放射源。

【請求項 2】

前記液体小滴は、スズ、または、スズを含有する金属合金から作られる、請求項1に記載の放射源。

【請求項 3】

前記液体小滴は、前記液体ジェットアノードおよび前記液体ジェットカソードの材料とは異なる材料から作られる、請求項 1 に記載の放射源。

【請求項 4】

前記第 1 の活性化源および前記第 2 の活性化源は、前記第 1 のエネルギーパルスおよび前記第 2 のエネルギーパルスがおおよそ 10 ～ 100 ns の時間差でそれぞれ前記第 1 のスポットおよび前記第 2 のスポットに当たることを可能ならしめる、請求項 1 乃至 3 のいずれか一つの請求項に記載の放射源。

【請求項 5】

前記放電空間の付近の前記放射源における第 3 のスポット上に第 3 のエネルギーパルスを誘導して第 3 のプラズマチャネルを作成する第 3 の活性化源であって、前記第 3 のスポットが前記第 1 及び第 2 のスポットとは異なるスポットであり、前記第 3 の活性化源が前記放電中に前記第 3 のエネルギーパルスを発生する、第 3 の活性化源をさらに含む、請求項 1 乃至 4 のいずれか一つの請求項に記載の放射源。

10

【請求項 6】

リソグラフィ装置であって、
請求項 1 乃至 5 のいずれか一つに記載の放射源と、
前記電磁放射を放射ビームに調整する照明システムと、
前記放射ビームの断面にパターンを与えてパターン付き放射ビームを形成することができるパターンングデバイスを支持するサポートと、
基板を保持する基板テーブルと、
前記基板のターゲット部分上に前記パターン付き放射ビームを投影する投影システムと、
を含むリソグラフィ装置。

20

【請求項 7】

放射を生成する方法であって、
放射源のアノードおよびカソードの間に電圧を作成することと、
前記放射源における第 1 のスポット上に第 1 のエネルギーパルスを誘導して、前記アノードおよび前記カソードの間に放電をトリガする主プラズマチャネルを作成することと、
前記放射源における第 2 のスポット上に第 2 のエネルギーパルスを誘導して、前記アノードおよび前記カソードの間に追加プラズマチャネルを作成することであって、前記第 2 のスポットが前記第 1 のスポットとは異なるスポットであり、前記第 2 のエネルギーパルスが前記放電中に発生される、当該作成することと、
前記カソードおよび前記アノードの間に複数の小滴を供給することと、
前記複数の小滴のうちの 1 つの小滴が前記カソードおよび前記アノードの間にある場合に、前記 1 つの小滴上に前記第 2 のエネルギーパルスを誘導すること、を含み、
前記アノードは液体ジェットアノードを含み、前記カソードは液体ジェットカソードを含む、方法。

30

【請求項 8】

前記第 1 のエネルギーパルスおよび前記第 2 のエネルギーパルスは、おおよそ 10 ～ 100 ns の時間差でそれぞれ前記第 1 のスポットおよび前記第 2 のスポットに当たる、請求項 7 に記載の方法。

40

【請求項 9】

前記放射源における前記第 1 及び第 2 のスポットとは異なる第 3 のスポット上に第 3 のエネルギーパルスを誘導して、前記アノードおよび前記カソードの間に第 3 のプラズマチャネルを作成することを更に含み、前記第 3 のエネルギーパルスは前記放電中に発生される、請求項 7 又は 8 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

[0001] 本発明は、リソグラフィ装置およびリソグラフィ装置用のプラズマ放射源に関する。

【背景技術】

【0002】

[0002] リソグラフィ装置は、所望のパターンを基板上、通常、基板のターゲット部分上に付与する機械である。リソグラフィ装置は、例えば、集積回路（IC）の製造に用いることができる。その場合、マスクまたはレチクルとも呼ばれるパターニングデバイスを用いて、ICの個々の層上に形成される回路パターンを生成することができる。このパターンは、基板（例えば、シリコンウェーハ）上のターゲット部分（例えば、ダイの一部、または1つ以上のダイを含む）に転写することができる。通常、パターンの転写は、基板上に設けられた放射感応性材料（レジスト）層上への結像によって行われる。一般に、単一の基板には、連続的にパターンが付けられた隣接ターゲット部分のネットワークが含まれる。公知のリソグラフィ装置としては、ターゲット部分上にパターン全体を一度に露光することにより各ターゲット部分を照射するいわゆるステッパや、放射ビームによってある特定の方向（「スキャン」方向）にパターンをスキャンすると同時に、この方向に平行または逆平行に基板をスキャンすることにより各ターゲット部分を照射するいわゆるスキヤナが挙げられる。パターンを基板上にインプリントすることにより、パターニングデバイスから基板にパターンを転写することも可能である。

10

【0003】

[0003] デバイスのクリティカルディメンションを小さくするために、リソグラフィ投影装置には、EUV放射用の放射源が配置される。EUV放射用の放射源は放電プラズマ放射源であってよく、この放射源では、アノードとカソードとの間の物質（例えば、ガスまたは蒸気）内でプラズマが発生され、また、プラズマを流れる（パルス）電流によるオーム加熱により高温放電プラズマが作成されうる。

20

【0004】

[0004] EUVリソグラフィ用の既存の放電ベースEUV源は、プラズマピンチ効果に基づいている。プラズマピンチの追加の生成物として高速イオンが出現し、これらは、リソグラフィ装置内の光学部品をスパッタしてしまうことがある。EUV放射源における高速イオンのエネルギーの量および分布は、1パルスにおけるエネルギー量に依存する。1パルスのエネルギーが大きいほど、高速イオンの数およびその平均エネルギーが大きくなり、したがって、光学部品のスパッタリング率も大きくなる。

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

[0005] 例えば、高速イオンの形成が低減されるプラズマ放射源を提供することが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0006】

[0006] 本発明の一様態では、放射源であって、アノードおよびカソードの間の放電空間内の物質内に放電を作成し、またプラズマを形成して電磁放射を発生させるアノードおよびカソードと、

40

放電空間の付近の放射源における第1のスポット上に第1のエネルギーパルスを誘導して放電をトリガする主プラズマチャネルを作成する第1の活性化源と、

放電空間の付近の放射源における第2のスポット上に第2のエネルギーパルスを誘導して追加プラズマチャネルを作成する第2の活性化源であって、第2のスポットが第1のスポットとは異なるスポットであり、第2の活性化源が放電中に第2のエネルギーパルスを発生する、第2の活性化源とを含む放射源を提供する。

【0007】

[0007] 本発明の更なる様態では、リソグラフィ装置であって、放射源であって、

50

アノードおよびカソードの間の放電空間内の物質内に放電を作成し、またプラズマを形成して電磁放射を発生させるアノードおよびカソードと、

放電空間の付近の放射源における第1のスポット上に第1のエネルギーパルスを誘導して放電をトリガする主プラズマチャネルを作成する第1の活性化源と、

放電空間の付近の放射源における第2のスポット上に第2のエネルギーパルスを誘導して追加プラズマチャネルを作成する第2の活性化源であって、第2のスポットが第1のスポットとは異なるスポットであり、第2の活性化源が放電中に第2のエネルギーパルスを発生するように配置される、第2の活性化源と、

を含む放射源と、

電磁放射を放射ビームに調整する照明システムと、

放射ビームの断面にパターンを与えてパターン付き放射ビームを形成することができるパターニングデバイスを支持するサポートと、

基板を保持する基板テーブルと、

基板のターゲット部分上にパターン付き放射ビームを投影する投影システムと、を含むリソグラフィ装置を提供する。

【0008】

[0008] 本発明の更なる様態では、放射を生成する方法であって、

放射源のアノードおよびカソードの間に電圧を作成することと、

放射源における第1のスポット上に第1のエネルギーパルスを誘導して、アノードおよびカソードの間に放電をトリガする主プラズマチャネルを作成することと、

放射源における第2のスポット上に第2のエネルギーパルスを誘導して、アノードおよびカソードの間に追加プラズマチャネルを作成することであって、第2のスポットが第1のスポットとは異なるスポットであり、第2のエネルギーパルスが放電中に発生される、当該作成することと、

を含む、方法を提供する。

【図面の簡単な説明】

【0009】

[0009] 本発明の実施形態を、単なる例として、添付の概略図面を参照して説明する。これらの図面において対応する参照記号は対応する部分を示す。

【図1】 [0010] 図1は、本発明の一実施形態によるリソグラフィ装置を示す。

【図2】 [0011] 図2は、本発明の一実施形態によるプラズマ放射源を示す。

【図3】 [0012] 図3は、本発明の更なる実施形態によるプラズマ放射源を示す。

【図4】 [0013] 図4は、本発明の更なる実施形態によるプラズマ放射源を示す。

【発明を実施するための形態】

【0010】

[0014] 図1は、本発明の一実施形態によるリソグラフィ装置を概略的に示す。このリソグラフィ装置は、

[0015] - 放射ビームB（例えばUV放射またはEUV放射）を調整するように構成される照明システム（イルミネータ）ILと、

[0016] - パターニングデバイス（例えば、マスク）MAを支持するように構成され、かつ特定のパラメータに従ってパターニングデバイスを正確に位置付けるように構成された第1ポジションPMに連結されるサポート構造（例えば、マスクテーブル）MTと、

[0017] - 基板（例えば、レジストコートウェーハ）Wを保持するように構成され、かつ特定のパラメータに従って基板を正確に位置付けるように構成された第2ポジションPWに連結される基板テーブル（例えば、ウェーハテーブル）WTと、

[0018] - パターニングデバイスMAによって放射ビームBに付けられたパターンを基板Wのターゲット部分C（例えば、1つ以上のダイを含む）上に投影するように構成された投影システム（例えば、屈折投影レンズシステム）PLとを含む。

【0011】

[0019] 照明システムとしては、放射を誘導、整形、または制御するために、屈折型、

10

20

30

40

50

反射型、磁気型、電磁型、静電型、またはその他のタイプの光コンポーネント、或いはそれらのあらゆる組合せ等の様々なタイプの光コンポーネントを含むことができる。

【0012】

[0020] サポート構造は、パターニングデバイスの配向、リソグラフィ装置の設計、および、パターニングデバイスが真空環境内で保持されているか否か等の他の条件に応じた態様で、パターニングデバイスを保持する。サポート構造は、機械式、真空式、静電式またはその他のクランプ技術を使って、パターニングデバイスを保持することができる。サポート構造は、例えば、必要に応じて固定または可動式にすることができるフレームまたはテーブルであってもよい。サポート構造は、パターニングデバイスを、例えば、投影システムに対して所望の位置にあることを確実にしうる。ここで使用する「レチクル」または「マスク」という用語はすべて、より一般的な「パターニングデバイス」という用語と同義と考えてよい。

10

【0013】

[0021] ここで使用する「パターニングデバイス」という用語は、基板のターゲット部分内にパターンを作り出すように、放射ビームの断面にパターンを与えるために使用できるあらゆるデバイスを指すと広く解釈すべきである。なお、放射ビームに付けられたパターンは、例えば、そのパターンが位相シフトフィーチャまたはいわゆるアシストフィーチャを含む場合、基板のターゲット部分内の所望のパターンに正確に一致しない場合もあることに留意されたい。通常、放射ビームに付けられたパターンは、集積回路等のターゲット部分内に作り出されるデバイス内の特定機能層に対応することになる。

20

【0014】

[0022] パターニングデバイスは、透過型であっても反射型であってもよい。パターニングデバイスの例としては、マスク、プログラマブルミラーアレイ、およびプログラマブルLCDパネルが含まれる。マスクは、リソグラフィでは周知であり、バイナリ、レベソソ型(alternating)位相シフト、およびハーフトーン型(attenuated)位相シフト等のマスク型、ならびに種々のハイブリッドマスク型を含む。プログラマブルミラーアレイの一例では、小型ミラーのマトリクス配列が用いられ、小型ミラーはそれぞれ個別に傾斜されて、入射する放射ビームを様々な方向に反射させることができる。傾斜されたミラーは、ミラーマトリクスによって反射される放射ビームにパターンを付ける。

【0015】

30

[0023] ここで使用する「投影システム」という用語は、用いられる露光放射に、または液浸液の使用若しくは真空の使用といった他の要因に適切な屈折型、反射型、反射屈折型、磁気型、電磁型、および静電型光学系、またはそれらのあらゆる組合せを含むあらゆる型の投影システムを包含していると広く解釈すべきである。本願にて使用する「投影レンズ」という用語はすべて、より一般的な「投影システム」という用語と同義と考えてよい。

【0016】

[0024] ここで示されるとおり、装置は反射型のもの（例えば、反射型マスクを採用しているもの）である。或いは、装置は透過型のもの（例えば、透過型マスクを採用しているもの）であってもよい。

40

【0017】

[0025] リソグラフィ装置は、2（デュアルステージ）以上の基板テーブル（および／または2つ以上のサポート構造）を有するタイプのものであってもよい。そのような「マルチステージ」機械では、追加のテーブルおよび／またはサポート構造は並行して使うことができるか、または予備工程を1つ以上のテーブルおよび／またはサポート構造上で実行しつつ、別の1つ以上のテーブルおよび／またはサポート構造を露光用に使うこともできる。

【0018】

[0026] リソグラフィ装置は、投影システムと基板との間の空間を満たすように、比較的高い屈折率を有する液体、例えば水によって基板の少なくとも一部を覆うことができる

50

タイプのものであってもよい。液浸液は、例えば、マスクと投影システムとの間といったリソグラフィ装置内の別の空間に加えられてもよい。液浸技術は、当該技術において投影システムの開口数を増加させることでよく知られている。ここで使用する「液浸」という用語は、基板のような構造物を液体内に沈めなければならないという意味ではなく、単に、露光中に投影システムと基板との間に液体があるということを意味するものである。

【0019】

[0027] 図1を参照するに、イルミネータILは、プラズマ放射源SOから放射ビームを受け取る。プラズマ放射源とリソグラフィ装置は、別個の構成要素であってよい。そのような場合、プラズマ放射源は、リソグラフィ装置の一部を形成しているとはみなされず、また、放射ビームは、プラズマ放射源SOからイルミネータILへ、例えば、適切な誘導ミラーおよび／またはビームエキスパンダを含むビームデリバリシステムBDを使って送られる。プラズマ放射源SOおよびイルミネータILは、必要に応じてビームデリバリシステムBDとともに「放射システム」と呼んでもよい。

10

【0020】

[0028] イルミネータILは、放射ビームの角強度分布を調節するアジャスタを含むことができる。一般に、イルミネータの瞳面内の強度分布の少なくとも外側および／または内側半径範囲（通常、それぞれ σ -outerおよび σ -innerと呼ばれる）を調節することができる。さらに、イルミネータILは、インテグレータおよびコンデンサといった様々な他のコンポーネントを含んでもよい。イルミネータを用いて放射ビームを調整することにより、放射ビームの断面に所望の均一性および強度分布をもたせることができる。

20

【0021】

[0029] 放射ビームBは、サポート構造（例えば、マスクテーブル）MT上に保持されているパターンングデバイス（例えば、マスク）MA上に入射して、パターンングデバイスによってパターンが付けられる。パターンングデバイスMAを通り抜けた後、放射ビームBは投影システムPSを通過し、投影システムPSは、基板Wのターゲット部分C上にビームの焦点を合わせる。第2ポジションPWおよび位置センサIF2（例えば、干渉計デバイス、リニアエンコーダ、または静電容量センサ）に支援されて、例えば、様々なターゲット部分Cを放射ビームBの経路内に位置付けるように、基板テーブルWTを正確に動かすことができる。同様に、第1ポジションPMおよび別の位置センサIF1を用いて、パターンングデバイスMAを、例えば、マスクライブラリからマスクを機械的に取り出した後またはスキャン中に、放射ビームBの経路に対して正確に位置付けることもできる。一般に、サポート構造MTの動きは、第1ポジションPMの一部を形成するロングストロークモジュール（粗動位置決め）およびショートストロークモジュール（微動位置決め）を用いて実現することができる。同様に、基板テーブルWTの動きも、第2ポジションPWの一部を形成するロングストロークモジュールおよびショートストロークモジュールを用いて実現することができる。ステッパ（スキャナとは対照的に）の場合、サポート構造MTは、ショートストロークアクチュエータのみに連結されるか、または固定されてもよい。パターンングデバイスMAと基板Wは、パターンングデバイスアライメントマークM1およびM2と、基板アライメントマークP1およびP2とを用いて位置合わせされてもよい。図示する基板アライメントマークは専用ターゲット部分を占めているが、これらのマークはターゲット部分間の空間内に置くこともできる（これらは、スクライブラインアライメントマークとして公知である）。同様に、複数のダイがパターンングデバイスMA上に設けられる場合、パターンングデバイスアライメントマークは、ダイ間に置かれてもよい。

30

40

【0022】

[0030] 例示の装置は、以下に説明するモードのうち少なくとも1つのモードで使用できる。

【0023】

[0031] 1. ステップモードでは、サポート構造MTおよび基板テーブルWTを基本的に静止状態に保ちつつ、放射ビームに付けられたパターン全体を一度にターゲット部分

50

C上に投影する（即ち、単一静的露光）。その後、基板テーブルWTは、Xおよび／またはY方向に移動され、それによって別のターゲット部分Cを露光することができる。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、単一静的露光時に結像されるターゲット部分Cのサイズが限定される。

【0024】

[0032] 2. スキャンモードでは、サポート構造MTおよび基板テーブルWTを同期的にスキャンする一方で、放射ビームに付けられたパターンをターゲット部分C上に投影する（即ち、単一動的露光）。サポート構造MTに対する基板テーブルWTの速度および方向は、投影システムPSの（縮小）拡大率および像反転特性によって決めることができる。スキャンモードでは、露光フィールドの最大サイズによって、単一動的露光時のターゲット部分の幅（非スキャン方向）が限定される一方、スキャン動作の長さによって、ターゲット部分の高さ（スキャン方向）が決まる。

10

【0025】

[0033] 3. 別のモードでは、プログラマブルパターニングデバイスを保持した状態で、サポート構造MTを基本的に静止状態に保ち、また基板テーブルWTを動かす、またはスキャンする一方で、放射ビームに付けられているパターンをターゲット部分C上に投影する。このモードでは、一般にパルス放射源が採用されており、さらにプログラマブルパターニングデバイスは、基板テーブルWTの移動後ごとに、またはスキャン中の連続する放射パルス間に必要に応じて更新される。この動作モードは、前述の型のプログラマブルミラーアレイといったプログラマブルパターニングデバイスを利用するマスクレスリソグラフィに容易に適用することができる。

20

【0026】

[0034] 上述の使用モードの組合せおよび／または変形、或いは完全に異なる使用モードもまた採用可能である。

【0027】

[0035] 一実施形態による放射源SOは、アノードとカソードとを含み、これらは、アノードとカソードとの間の放電空間内の物質に放電を作成するように構成且つ配置される。一時的なプラズマピンチが形成される。このプラズマピンチは崩壊してEUV放射といった電磁放射を発生する。（2～5 kV）の印加電圧では、電磁放射の生成に加えて、プラズマピンチの崩壊の結果高速イオンが生成される。

30

【0028】

[0036] 本発明の一実施形態では、第1のエネルギーパルスが、放電をトリガする主プラズマチャネルを作成する。放電成長のある特定の段階において、第2のエネルギーパルスが、主プラズマチャネルの付近に第2の導電プラズマチャネルを作成する。第1のエネルギーパルスは主エネルギーパルスとも呼び、また、第2のエネルギーパルスは追加エネルギーパルスとも呼ぶことができる。

【0029】

[0037] 図2は、一実施形態によるプラズマ放射源SOを概略的に示す。プラズマ放射源SOは、アノード2とカソード4とを含む。当業者には知られているように、アノード2およびカソード4は、アノード2とカソード4間に十分な電圧を印加することによって、アノード2とカソード4との間の放電空間における、例えば、スズ蒸気である物質内に放電を作成するよう配置される。当業者には知られているように、EUV放射を含む電磁放射を生成するピンチプラズマ6が作成される。なお、ピンチプラズマ6は、第1の場合では、ピンチされる主プラズマチャネル6であることに留意されたい。放射源SOは更に、レーザビーム源10であってよい第1の活性化源10を含む。レーザビーム源10は、第1のエネルギーパルス12を、放電空間付近の放射源SOの第1のスポット14上に誘導するよう配置される。これは、スポット14をアブレーションし、プラズマチャネル（主プラズマチャネルと呼ぶ）を作成し、その結果、放電がトリガされる。一実施形態では、放射源SOは更に、レーザパルス18といった第2のエネルギーパルス18を放電空間付近の放射源SOの第2のスポット20上に誘導するよう配置される第2の活性化源16

40

50

を含む。これは、追加プラズマチャンネル 22 を作成する。一実施形態では、第 2 のスポット 20 の位置は第 1 のスポット 14 の位置とは異なり、また、第 2 の活性化源 16 は、同じ放電中に第 2 のプラズマチャンネル 22 を作成するよう配置される。なお、第 1 の活性化源 10 と第 2 の活性化源 16 は、1 つの活性化源に組み込まれてもよく、その場合、第 2 のエネルギーパルス 18 は、例えば、回転式ミラーによって第 1 のエネルギーパルスとは異なる方向に誘導される。一実施形態では、第 1 および／または第 2 のスポットは、アノード上に位置付けられても、および／または、第 1 および／または第 2 のスポットは、カソード上に位置付けられてもよい。

【0030】

[0038] 高速イオンが、プラズマ崩壊の EUV 放射が生成される段階よりも後の段階において生成される。高速イオンは、そのエネルギーを、 I^2 に比例する磁場エネルギーから受け取る。ここで、 I は、アノード 2 からカソード 4 への放電電流である。これは、放電電流 I が、EUV 放出の直後に十分に速く低下すれば高速イオンの数が減少することを意味する。プラズマ 6 の放射崩壊は、放電電流 I の最大値付近であることが最適であり、したがって、次のことが当てはまる。

$$L \cdot dI / dt = -RI \quad (1)$$

このとき、 R は主プラズマチャンネルにおけるピンチの抵抗であり、 L は放電源の総インダクタンスであって、次の通りとなる。

$$d(\ln(I)) / dt = -R / L \quad (2)$$

【0031】

[0039] なお、抵抗 R は、放電プロセスの内部パラメータであり、また、変換効率 (CE) を下げることなくして変更することは困難である。アノード 2 とカソード 4 との間に第 2 のプラズマチャンネル 22 を作成することにより、並列の電流路が作成される。この結果、放電電流は、小さい抵抗を有する新しい電流路に再誘導される。この再誘導全体のプロセスは、主プラズマチャンネルと第 2 のプラズマチャンネルによって作成された回路のインダクタンスが小さいことによって、非常に短く（数ナノ秒未満）することができる。並列の電流路は、事実上、アノード 2 とカソード 4 との間に短絡を形成する。カソード 4 - 主プラズマチャンネル 6 - アノード 2 - 第 2 のプラズマチャンネル 22 のように見える電気回路が作成される。この回路は比較的小さいインダクタンス（～数 nH）を有し、この中で、ピンチ放電電流は、第 2 のプラズマチャンネルにおける電流が適切に増加するにしたがって迅速に散逸する。放電電流が高速に低下することによって、高速イオンの形成が相当に低減される。

【0032】

[0040] 第 2 のレーザパルス 18 は、第 1 の活性化源 10 によって発生された第 1 のレーザパルス 12 に対して遅延されるようにスポット 20 に誘導される。一実施形態では、2 つのレーザパルス間の時間遅延は、例えば、～10 - 100 ns といったように EUV 発生フェーズの終わり近くで第 2 のプラズマチャンネルを作成するように調節される。一実施形態では、時間遅延は、放射源 SO の付近の位置において測定された高速イオン量に依存して調整される。

【0033】

[0041] 図 2 において、軸対称のアノード 2 およびカソード 4 を含む放射源 SO を示す。実際には、追加のプラズマチャンネル 22 を作成するために、1 つの追加レーザビーム、即ちレーザビーム 18 しか使わなくてよい。しかし、更なる実施形態では、カソード 4 上の第 3 のスポット 28 に誘導されるレーザパルス 26 といったエネルギーパルスを生成するように配置される第 3 の活性化源 24 が設けられる。これにより、上述した第 2 のプラズマチャンネル 22 と共に生じる第 3 のプラズマチャンネル 30（図 2 参照）が結果として得られる。なお、第 3 のレーザビームは、追加レーザビーム 18 がカソード 4 に衝突した後に、カソード 4 に衝突することは想到可能であることに留意されたい。これは、ショートカット回路 (shortcutting circuit) のインダクタンスを下げ、且つ、高速イオンの数を減らすことにおいて有利でありうる。追加プラズマチャンネル 22、30 の数および形状は、

当業者には知られているように、ショートカットインダクタンス(shortcutting inductance)を最小限にするよう適切に選択されうる。なお、放射源S Oは、図2に示すものとは異なる形式および形状を有してもよい。放射源S Oは、追加プラズマチャンネル22、30を作成するためにレーザがその表面に誘導される第三体を含んでもよい。

【0034】

[0042] 図3は、液体ジェットアノード50と液体ジェットカソード52とを含む放射源S Oの更なる実施形態を示す。液体アノード50および液体カソード52は、当業者には知られているような方法で生成される。一実施形態では、第1の活性化源54は、第1のレーザビーム56をカソード52上に誘導するよう配置される。これは、結果として、放電をトリガする主プラズマチャンネル58をもたらし、この放電中に、第2のレーザパルス62が、第2の活性化源60によってカソード52に誘導される。この結果、液体ジェットカソード52と液体ジェットアノード50との間に、図2を参照して上に説明したのと同様に、短絡がもたらされる。より多くの液体アノードまたは特別に生成された第三体（例えば、小滴）を用いて第2のプラズマチャンネルを作成してもよい。

【0035】

[0043] 図4は、小滴70が、液体ジェットカソード52と液体ジェットアノード50との間に射出される実施形態を示す。小滴70は、小滴生成ユニット61によって生成される。小滴70は液体金属小滴であってもよいが、或いは、水またはキセノンといった非導電性材料を用いて生成されてもよい。そのような小滴を生成する技術は、当業者には知られているように、レーザプラズマ生成(laser plasma produced LPP)放射源において広く使用される。一実施形態では、例えば直径40 μm を有し、例えば互いに40 μm で離間されて、例えば10 m/秒の速度を有する一連の小滴が提供される。これらの小滴の位置およびサイズは、非常に明確にすることができる(～数 μm)。放射源S Oは、2つの連続するレーザパルス間に特定の時間間隔を有する小滴にレーザパルスを送るよう活性化源54、60を制御するように配置された制御機構を含みうる。小滴を加熱するプロセス(アブレーション)は、液体カソード52に焦点が合わされた主レーザパルスに対するものと同じである。小滴材料は、集束レーザパルス62により加熱されて蒸発し、次に蒸気中のレーザブレイクダウンが続く。その後、レーザパルスエネルギーは、それをイオン化する蒸気内で吸収され、プラズマ雲を作成する。プラズマ雲を小滴のどの側面にも拡大することによって、液体ジェットアノード50と液体ジェットカソード52との間に新しいプラズマチャンネル72が生成される。この新しいプラズマチャンネル72は、主プラズマチャンネル58における電流を短絡させる。

【0036】

[0044] 本発明の実施形態は、例えば、他の放電生成プラズマ(discharge produced plasma DPP)EUV源といった他のタイプの放射源にも適用してよいことは当然である。

【0037】

[0045] 本発明の実施形態によって、アノードとカソードとの間の放電の総抵抗が小さくなり、それにより、電極付近での発熱が減少する。したがって、除去されるべき熱は少なくなる。更に、外部回路における電流は大きくなり、それにより、そこに追加の電気エネルギーを集めることができるようになり、したがって、(EUV)放射と放電により消費される電気エネルギーとの比である全体のCEが増加する。EUVパルス後に放電により消費されるエネルギーの一部はEUV生成には使えないので、その一部を少なくすることがよい。次のパルスに使用するために外部回路においてより大きい部分のエネルギーを集めることができるのであれば、より大きい総CEに達することができる。

【0038】

[0046] なお、Sn(スズ)を用いる代わりに、EUV放射を生成するとして知られている、例えばスズとガリウムの合金、インジウム、またはスズおよびインジウムの合金といった1以上の他の金属、または、第三体を用いる場合に良好な導電性のプラズマチャンネルを生成するとして知られている任意の物質を用いてもよい。

【0039】

[0047] この文章ではＩＣ製造におけるリソグラフィ装置の使用について具体的な言及がなされているかもしれないが、ここに記載するリソグラフィ装置が、集積光学システム、磁気ドメインメモリ用のガイダンスパターン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）、薄膜磁気ヘッド等の製造といった他の用途を有し得ることが理解されるべきである。当業者には当然のことであるが、そのような別の用途の文脈では、ここで使用される「ウェーハ」または「ダイ」という用語はすべて、それぞれより一般的な「基板」または「ターゲット部分」という用語と同義であるとみなしてよい。ここに記載した基板は、露光の前後を問わず、例えば、トラック（通常、基板にレジスト層を塗布し、かつ露光されたレジストを現像するツール）、メトロロジーツール、および／またはインスペクションツールで処理されうる。適用可能な場合には、ここでの開示内容を上記のような基板プロセッシングツールおよびその他の基板プロセッシングツールに適用してもよい。さらに基板は、例えば、多層ＩＣを作るために複数回処理されてもよいので、ここで使用する基板という用語は、すでに多重処理層を包含している基板を表すものとしてもよい。

10

【0040】

[0048] 光リソグラフィの文脈において本発明の実施形態の使用について上述のとおり具体的な言及がなされたかもしれないが、当然のことながら、本発明は、他の用途、例えば、インプリントリソグラフィに使われてもよく、さらに状況が許すのであれば、光リソグラフィに限定されることはない。インプリントリソグラフィにおいては、パターンニングデバイス内のトポグラフィによって、基板上に創出されるパターンが定義される。パターンニングデバイスのトポグラフィは基板に供給されたレジスト層の中にプレス加工され、基板上では、電磁放射、熱、圧力、またはそれらの組合せが加えられることでレジストが硬化される。パターンニングデバイスは、レジストが硬化した後、レジスト内にパターンを残してレジストの外へ移動される。

20

【0041】

[0049] ここで使用される「放射」および「ビーム」という用語は、紫外線（ＵＶ）（例えば、３６５ｎｍ、３５５ｎｍ、２４８ｎｍ、１９３ｎｍ、１５７ｎｍ、または１２６ｎｍの波長、またはおよそこれらの値の波長を有する）、および極端紫外線（ＥＵＶ）（例えば、５～２０ｎｍの範囲の波長を有する）、ならびにイオンビームや電子ビームなどの微粒子ビームを含むあらゆる種類の電磁放射を包含している。

30

【0042】

[0050] 「レンズ」という用語は、文脈によっては、屈折、反射、磁気、電磁気、および静電型光コンポーネントを含む様々な種類の光コンポーネントのいずれか１つまたはこれらの組合せを指すことができる。

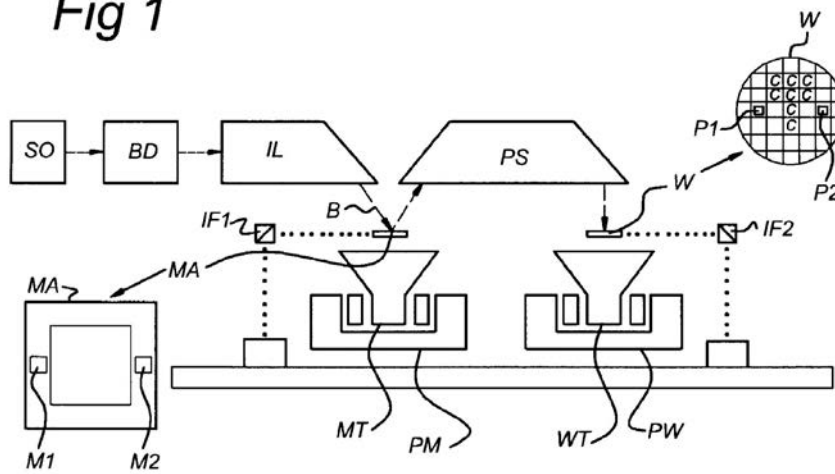
【0043】

[0051] 以上、本発明の具体的な実施形態を説明してきたが、本発明は、上述以外の態様で実施できることが明らかである。上記の説明は、制限ではなく例示を意図したものである。したがって、当業者には明らかなように、添付の特許請求の範囲を逸脱することなく本記載の発明に変更を加えてもよい。

40

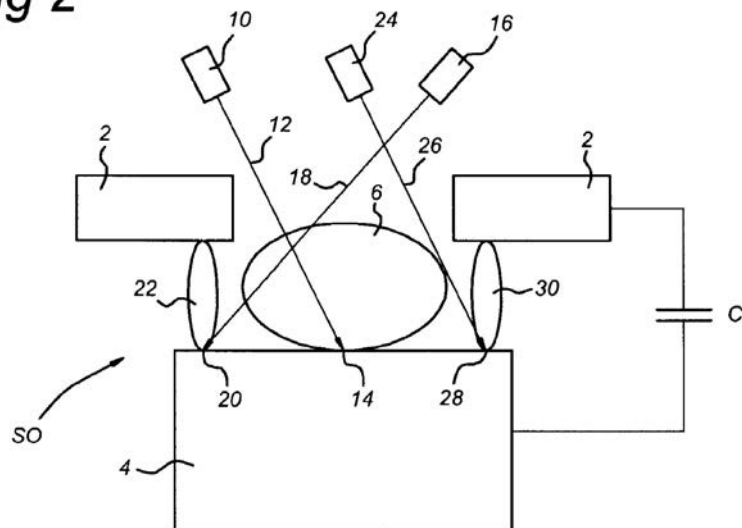
【図 1】

Fig 1

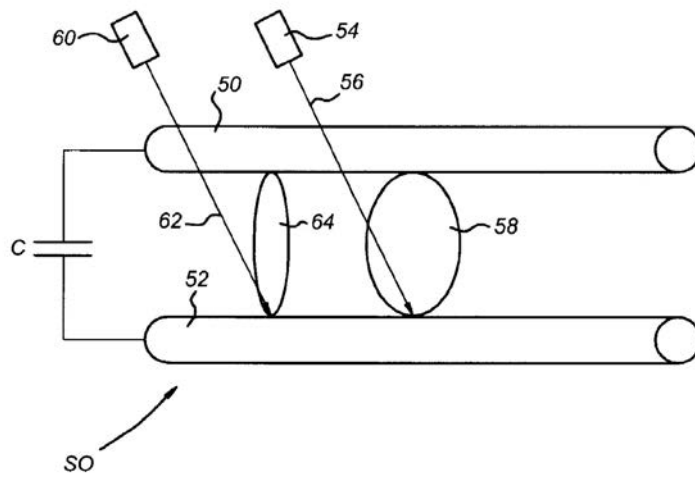


【図 2】

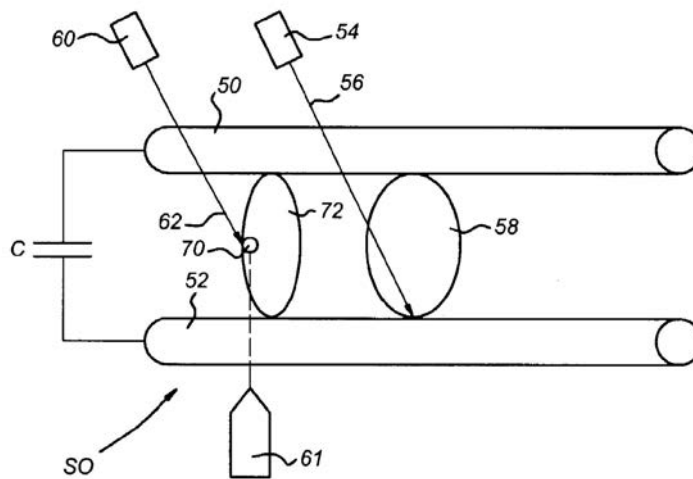
Fig 2



【図 3】

Fig 3

【図 4】

Fig 4

フロントページの続き

- (72)発明者 バニエ, バディム, エヴィージェンエビッチ
オランダ国, ヘルモント エヌエル-5704 エヌケイ, ニアースラーン 2
- (72)発明者 コシェレヴ, コンスタンティン ニコラエヴィッチ
ロシア連邦, モスクワ リジョン, トロイスク, シュコルナヤ ストリート 4

審査官 佐野 浩樹

- (56)参考文献 特開2006-032340 (JP, A)
国際公開第2005/060321 (WO, A1)
米国特許第04709373 (US, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- G03F 7/20 - 7/24 、 9/00 - 9/02 、
G21K 1/00 - 3/00 、 5/00 - 7/00 、
H01J 35/00 - 35/32 、
H01L 21/027、21/30 、
H05G 1/00 - 2/00