

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6038301号
(P6038301)

(45) 発行日 平成28年12月7日(2016. 12. 7)

(24) 登録日 平成28年11月11日(2016. 11. 11)

(51) Int.Cl.

H05G 2/00 (2006.01)

F I

H05G 2/00

K

請求項の数 17 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2015-516546 (P2015-516546)
 (86) (22) 出願日 平成25年5月29日 (2013. 5. 29)
 (65) 公表番号 特表2015-521781 (P2015-521781A)
 (43) 公表日 平成27年7月30日 (2015. 7. 30)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2013/061056
 (87) 国際公開番号 W02013/186052
 (87) 国際公開日 平成25年12月19日 (2013. 12. 19)
 審査請求日 平成27年4月9日 (2015. 4. 9)
 (31) 優先権主張番号 102012209837.2
 (32) 優先日 平成24年6月12日 (2012. 6. 12)
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

(73) 特許権者 515041332
 トルンプフ レーザーシステムズ フォー
 セミコンダクター マニュファクチャリ
 ング ゲゼルシャフト ミット ベシュレ
 ンクテル ハフツング
 TRUMPF Lasersystems
 for Semiconductor
 Manufacturing GmbH
 ドイツ連邦共和国 デイツツィンゲン ヨ
 ハン-マウス-シュトラッセ 2
 Johann-Maus-Str. 2,
 D-71254 Ditzingen,
 Germany

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザービーム光源とレーザービームを操作するためのビーム案内装置とを備えたEUV励起光源

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

EUV励起光源(1)であって、
 少なくとも1つのレーザービーム(10, 12)を放射するための少なくとも1つのレ
 ーザービーム光源(9, 9')と、
 前記少なくとも1つのレーザービーム(10, 12)を操作するためのビーム案内装置
 (22)と、
 を備え、
 前記ビーム案内装置(22)は、
 前記少なくとも1つのレーザービーム(10, 12)から少なくとも2つの分離ビーム
 (10', 11, 12', 13)を生成するための少なくとも1つのビームスプリッタ(2)と、
 前記分離ビーム(10', 11, 12', 13)のうちの少なくとも1つを操作するた
 めの、少なくとも1つのミラー(4, 5, 15, 16, 17, 18)若しくは少なくとも
 1つのレンズと、
 少なくとも2つの分離ビーム(10'', 11'', 12'', 13'')を重畳するた
 めの重畳ミラー(3)と、
 前記2つの分離ビーム(10'', 11'', 12'', 13'')の各焦点(7, 8)を
 生成するための集束装置(6)と、
 を有し、

10

20

前記少なくとも1つのビームスプリッタ(2)と、前記少なくとも1つのミラー(4, 5, 15, 16, 17, 18)若しくは少なくとも1つのレンズと、前記重畳ミラー(3)と、前記集束装置(6)と、が、前記分離ビーム(10'', 12'')のうちの一方の第1の焦点(7)を、前記分離ビーム(11' ', 13' ')のうちの他方の第2の焦点(8)とは異なる位置に形成するように構成されて配置され、

前記第1の焦点(7)および前記第2の焦点(8)は、前記集束装置(6)から異なる距離に存在し、

少なくとも1つの第1の密閉空間(14)と、前記第1の密閉空間(14)内の所定の圧力を設定するための設定装置と、が設けられ、

前記第1の密閉空間(14)は、前記ビームスプリッタ(2)と前記重畳ミラー(3)のうちの少なくとも1つによって画定され、

前記第1の密閉空間(14)内の前記所定の圧力の変更によって、前記ビームスプリッタ(2)および/または前記重畳ミラー(3)の曲率が変更され、

少なくとも1つの第2の密閉空間(19)と、前記第2の密閉空間(19)内の所定の圧力を設定するための設定装置と、が設けられ、

前記第2の密閉空間(19)は、前記ミラー(4, 5, 15, 16, 17, 18)のうちの少なくとも1つによって画定され、

前記第2の密閉空間(19)内の前記所定の圧力の変更によって、前記ミラー(4, 5, 15, 16, 17, 18)のうちの少なくとも1つの曲率が変更される、

EUV励起光源(1)。

【請求項2】

前記ビームスプリッタ(2)は、前記少なくとも1つのレーザービーム(10, 12)の一部に対しては反射性でかつ前記少なくとも1つのレーザービーム(10, 12)の別の一部に対しては透過性のコーティングを有する部分透過性のミラーである、
請求項1記載のEUV励起光源(1)。

【請求項3】

前記ミラー(4, 5, 15, 16, 17, 18)のうちの少なくとも1つは、平面形状である、

請求項1または2記載のEUV励起光源(1)。

【請求項4】

前記ミラー(4, 5, 15, 16, 17, 18)のうちの少なくとも1つは、湾曲形状である、

請求項1または2記載のEUV励起光源(1)。

【請求項5】

前記第1の焦点(7)と前記第2の焦点(8)とが、前記焦点(7, 8)を形成する前記分離ビーム(10'', 11' ', 12'', 13' ')の光軸を横切る線の上に形成される、

請求項1から4いずれか1項記載のEUV励起光源(1)。

【請求項6】

少なくとも1つの透過性の要素(2, 3, 6)は、ダイヤモンドから成る、

請求項1から5いずれか1項記載のEUV励起光源(1)。

【請求項7】

前記ビームスプリッタ(2)は、一方の波長領域に対しては透過性でかつ他方の波長領域に対しては反射性のフィルタコーティングを有する部分透過性のミラーである、

請求項1から6いずれか1項記載のEUV励起光源(1)。

【請求項8】

少なくとも2つのレーザービーム光源(9, 9')を備えており、前記レーザービーム光源(9, 9')は、異なる波長(λ_1 , λ_2)のレーザービームを放射する、
請求項7記載のEUV励起光源(1)。

【請求項9】

前記ビームスプリッタ(2)は、少なくとも1つのレーザービーム(12)の偏光状態に対しては反射的であつて反射された分離ビーム(13)を形成し、少なくとも1つのレーザービーム(10)の別の偏光状態に対しては透過的であつて透過された分離ビーム(12')を形成する、フィルタコーティングを有する部分透過性のミラーである、
請求項1から6いずれか1項記載のEUV励起光源(1)。

【請求項10】

前記ビームスプリッタ(2)に入射するレーザービーム(12)と、前記ビームスプリッタ(2)によって反射された分離ビーム(13)と、が、第1の平面内に配置され、

前記少なくとも2つのミラー(4,5)若しくはレンズは、前記ミラー(4,5)若しくはレンズによって操作されて前記重畳ミラー(3)に入射する反射された分離ビーム(13'')と、前記重畳ミラー(3)によって反射された分離ビーム(13'')と、が第2の平面内に配置されるように配置され、

前記第1の平面と前記第2の平面は、互いに直交している、

請求項9記載のEUV励起光源(1)。

【請求項11】

少なくとも2つのレーザービーム光源(9,9')を備え、前記レーザービーム光源(9,9')は異なる偏光を有するレーザービームを放射する、

請求項9または10記載のEUV励起光源(1)。

【請求項12】

前記レーザービーム光源(9,9')は、相互に別個に駆動制御される、

請求項8または11記載のEUV励起光源(1)。

【請求項13】

前記操作は、前記レーザービーム(10,12)の方向を変更することを含む、

請求項1から12いずれか1項記載のEUV励起光源(1)。

【請求項14】

前記操作は、前記レーザービーム(10,12)の発散を変更することを含む、

請求項1から13いずれか1項記載のEUV励起光源(1)。

【請求項15】

請求項1から14いずれか1項記載のEUV励起光源(1)を用いて分離ビームを生成するための方法であって、

前記方法は、

プリパルス及びメインパルスのためのターゲット材料の時間依存性の位置を検出するステップと、

2つの分離ビーム(10'',11'',12'',13'')の各焦点(7,8)が、実質的に前記時間依存性の所定の位置に形成されるように、ビーム案内装置(22)を設定するステップと、

前記ターゲット材料が実質的にそれぞれの時間依存性の所定の位置に存在する所定の時点において、少なくとも1つのレーザービーム(10,12)が、第1の焦点(7)と第2の焦点(8)とを形成するように、レーザービーム光源(9)を駆動制御するステップと、

を含んでいることを特徴とする方法。

【請求項16】

前記時間依存性の所定の位置は、経験的に求められ、前記時間依存性の所定の位置は、前記ビーム案内装置(22)によって固定的に設定調整される、

請求項15記載の方法。

【請求項17】

前記時間依存性の所定の位置は、前記EUV励起光源(1)の動作中に求められ、制御装置によって前記ビーム案内装置(22)が設定調整され、少なくとも1つのレーザービーム光源(9)が駆動制御される、

請求項16記載の方法。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はレーザービーム光源と、レーザービームを操作するためのビーム案内装置とを備えたEUV励起光源に関し、詳細にはレーザービームの少なくとも1つの分離ビームを操作するためのビーム案内装置を備えたEUV励起光源に関する。

【背景技術】

【0002】

EUV(極端紫外線)ビームを生成するための装置は公知であり、この装置では、EUVビームを放射するために、例えばキセノン、リチウム又は錫を含むターゲット材料を、レーザービーム、例えばCO₂レーザーのレーザービームで励起している。

10

【0003】

文献WO2011/162903号公報には、EUV励起光源として作用するように、ターゲット材料を適切な手法で励起するレーザーが示されている。EUV光の発生効率を向上させるために、ターゲット材料のドロップレットが、最初にいわゆるプリパルス(pre-pulse)によって照射され、その際にドロップレットが膨張し、ガス状に遷移し、蒸化されるか、または、弱いプラズマに遷移させる。プリパルスによって準備したターゲット材料は、次に、いわゆるメインパルス(main-pulse)によってプラズマに変換され、EUV光を放射する。ケースによってはプリパルスとメインパルスに対する光源として異なるレーザーが用いられ、それらは、例えば光学系、ビーム結合器(beam combiner)を用いて、共通のビームパス上で共通の増幅器に導入される。

20

【0004】

異なるレーザーは、異なる波長の光を発することができるので、複数のレーザーを使用する場合には、異なる波長のレーザー光が、レーザービームの1つの軸線上で色収差により異なる間隔で焦点に集束される。

【0005】

本発明の課題は、異なる位置に存するレーザービームの様々な焦点が生成されるように、少なくとも1つのレーザービームを操作することが可能なEUV励起光源を提供することにある。

【0006】

上記課題は、請求項1に記載された本発明によるEUV励起光源によって解決される。従属請求項に記載された発明は、本発明のさらなる発展形態である。

30

【0007】

ビーム案内装置による複数の分離ビームへのレーザービームの分割と、レーザービームの少なくとも1つの分離ビームの操作とによって、所定の位置でそれぞれ所定の間隔をおいてレーザービームの複数の焦点を生成することが可能になる。この場合前記所定の位置は、3つの空間座標に関して異なってもよい。それにより、EUVビーム発生に対して、メインパルスの焦点とは異なるプリパルスの焦点ないし集束点が設定され得る。従って、第1の位置でプリパルスによって準備されるターゲット材料は最適に照射され、これによって、ターゲット材料のドロップレットは、スタート方向、スタート速度、重力、およびプリパルスによる偏向によって定まるその軌道における最適な第2の位置にて照射され、EUV光の放射のために励起される。

40

【0008】

本発明は、添付の図面を参照して実施形態により説明される。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】レーザービーム光源のレーザービームの反射された分離ビームを操作するための平面ミラーを有する第1実施形態によるビーム案内装置を備えたEUV励起光源の概略図

【図2】各レーザービーム光源からの2つのレーザービームを操作するための第2実施形態によるビーム案内装置を備えたEUV励起光源の概略図

50

【図 3】湾曲したミラーを有する第 3 実施形態によるビーム案内装置を備えた E U V 励起光源の概略図

【図 4】反射された分離ビームも透過ビームも操作される第 4 実施形態によるビーム案内装置を備えた E U V 励起光源の概略図

【図 5】偏光エラーまたは位相シフトを補償するための第 5 実施形態によるビーム案内装置におけるビームパスの概略図

【 0 0 1 0 】

実施例の説明

図 1 は、レーザービーム 10 を操作するためのビーム案内装置 22 を備えた E U V 励起光源 1 の第 1 実施形態を示す。なおここでの操作とは、レーザービームの方向変化および / または発散変化を起こさせることを意味するものと理解されたい。このビーム案内装置 22 は、ビームスプリッタ 2 と、第 1 のミラー 4 と、第 2 のミラー 5 と、重畳ミラー 3 とを有している。さらにこのビーム案内装置 22 には、集束装置 6 としてレンズが設けられている。

10

【 0 0 1 1 】

前記ビームスプリッタ 2 は、当該実施形態では、部分的に透過性のコーティングを備えている。それにより、このビームスプリッタ 2 に入射するレーザービーム 10 が分割され、透過された分離ビーム 10' と、反射された分離ビーム 11 とが生成される。第 1 のミラー 4 と第 2 のミラー 5 は、当該実施形態では平面状若しくは平坦に形成され、入射する光を完全に反射する。重畳ミラー 3 は、ビームスプリッタ 2 のコーティングに適したコーティングが施されている。それにより、重畳ミラー 3 は、自身の一側の側に入射するレーザービームに対しては透過的に作用し、他方の側に入射するレーザービームに対しては反射的に作用する。集束装置 6 は、レンズとして構成され、当該レンズに入射するレーザービーム 10'', 11' の焦点 7, 8 を形成する。この集束装置 6 は、代替的にミラーとして構成されていてもよいし、複数の光学素子からなるシステムとして構成されていてもよい。

20

【 0 0 1 2 】

また代替的な実施形態において、幾何学的仕様および光学的仕様に応じて、唯一つのミラー 4 だけが設けられていてもよいし、2 つ以上のミラー 4, 5 が設けられていてもよい。

30

【 0 0 1 3 】

例えばビームスプリッタ 2、重畳ミラー 3、集束装置 6 などの透過要素は、好ましくはダイヤモンドで形成されている。それにより、透過されたビームが、当該透過性素子内の熱作用による影響を受けないか、極わずかしかな影響されないことが保証される。また代替的に、その他の好適な材料が使用されてもよい。基本的には、Z n S e が基板として適しているが、但しこのケースでは、結果として生じる温度勾配によって、透過ビームの著しい発散変化を考慮に入れなければならない。

【 0 0 1 4 】

レーザービーム 10 の発生のために、レーザービーム光源 9、例えば C O₂ レーザーが設けられる。このレーザービーム光源 9 は、図示されていない制御装置によって次のように駆動制御される。すなわちそこから赤外線スペクトル領域の波長を有するレーザービームパルスが出力されるように駆動制御される。レーザービーム光源 9 は、実質的にシードレーザーと増幅段を有する。なおこれに対しては、以下でも説明するように、複数のシードレーザーが代替的に設けられていてもよく、それらのレーザービームは、共通の増幅段で、あるいは、別個の増幅器段で、増幅され得る。

40

【 0 0 1 5 】

レーザービーム 10 は、ビームスプリッタ 2 に入射して、そこで分割され、これによって第 1 の透過された分離ビーム 10' と、第 1 の反射された分離ビーム 11 とが生成される。この第 1 の透過された分離ビーム 10' と、第 1 の反射された分離ビーム 11 の強度比は、ビームスプリッタ 2 のコーティングに依存している。通常は、それらのパワー分布

50

が次のように定められる。すなわち透過された分離ビームのパワーが、反射された分離ビームのパワーの約10%~30%の割合になるように定められる。

【0016】

第1の透過された分離ビーム10'は、重畳ミラー3に入射した後で、当該重畳ミラーをさらに透過し、それによって第2の透過された分離ビーム10"が生じる。この第2の透過された分離ビーム10"は、その後集束装置6に入射し、そこで第1の焦点7に集束される。

【0017】

第1の反射された分離ビーム11は、第1のミラー4において反射され、それによって第2の反射された分離ビーム11'が形成される。この第2の反射された分離ビーム11'は、第2のミラー5に入射し、そこで第3の反射された分離ビーム11"が反射されて出力される。この第3の反射された分離ビーム11"は、その後で重畳ミラー3に入射し、そこで第4の反射された分離ビーム11' "が反射されて出力される。この第4の反射された分離ビーム11' "も集束装置6に入射し、そこで第2の焦点8に集束される。

【0018】

前記レーザービーム光源9、前記ビームスプリッタ2、前記第1のミラー4、前記第2のミラー5、および前記重畳ミラー3は、それぞれ次のように配置構成される。すなわち、第1の焦点7と第2の焦点8とが、当該実施形態において、集束装置に対して同じ間隔距離を持つがそれぞれ別の位置に存在するように配置構成される。この前記焦点7と8がそれぞれ存在している位置は、ここでは、前記焦点7, 8を形成するレーザービームの光軸を横切る線上にある。

【0019】

図2は、ビーム案内装置22の第2の実施形態を示している。当該実施形態では、2つのレーザービーム光源9, 9'が設けられている。レーザービーム光源9は、波長の異なる光を出力する点でさらなるレーザービーム光源9'とは異なっている。レーザービーム光源9は、第1の波長 λ_1 を有するレーザービームを出射し、さらなるレーザービーム源9'は、第2の波長 λ_2 を有するレーザービームを出射する。これらのレーザービームは、光学素子20, 21によって結合され、同心状のレーザービーム12を形成する。代替的に、前記レーザービーム光源9, 9'のレーザービームを、ビームスプリッタ2に直接配向してもよい。

【0020】

ビームスプリッタ2は、当該実施形態では、それが、一方の波長領域は実質的に反射し、他方の波長領域は実質的に透過させるフィルタ性コーティングを有するように構成される。この実施形態では、波長領域 λ_1 のレーザービームは、実質的に透過され、波長領域 λ_2 のレーザービームは実質的に反射される。それによって第1の透過された分離ビーム12'と、第1の反射された分離ビーム13とが生じる。

【0021】

第1の透過された分離ビーム12'は、重畳ミラー3(この重畳ミラー3もここではビームスプリッタ2に適したコーティングを施されている)を透過し、第2の透過された分離ビーム12"が形成される。この第2の透過された分離ビーム12"は、集束装置6によって集束され、その後で第1の焦点7が生じる。

【0022】

この第2の実施形態においても、前記第1の実施形態に類似して、第1の反射された分離ビーム13は、ミラー4および5において反射され、それによって、第2の反射された分離ビーム13'と第3の反射された分離ビーム13"が生じる。この第3の反射された分離ビーム13"は、その後重畳ミラー3によって反射され、第4の反射された分離ビーム13' "となって集束装置6に向かう。そしてこの集束装置6によって第4の反射された分離ビーム13' "は、第2の焦点8に集束される。

【0023】

2つのレーザービーム光源9, 9'の使用により、空間的に分離した2つの焦点7, 8

10

20

30

40

50

も、相応の駆動制御によって時点の異なる焦点 7, 8 も生成することが可能になる。この場合、空間的に分離した焦点も、異なる時点で生成することが可能である。

【 0 0 2 4 】

図 3 には、ビーム案内装置 22 の第 3 実施形態が示されている。図 2 に示した第 2 実施形態との違いは、第 1 のミラー 4 が平坦ではなく、湾曲していることにある。この第 1 のミラー 4 の湾曲により、レーザービームの発散が変更され、ミラー 4, 5 によって反射したレーザービームは、ビームスプリッタ 2 と重畳ミラー 3 とを通過して透過したレーザービームとは異なる発散で入射する。そのため第 2 の焦点 8 は、集束装置 6 に対し、先の実施形態とは異なる距離を有する（ここでは、より長くなっている）。代替的に、前記湾曲ミラーの曲率に依存して、前記集束装置 6 に対する第 2 の焦点の距離を、より短くしてもよい。

10

【 0 0 2 5 】

さらに代替的に、前記集束装置 6 に対する焦点の距離を、集束装置 6 の光軸に対して垂直方向に延在する軸線に沿ってシフトさせることで変化させることも可能である。

【 0 0 2 6 】

代替的な実施形態によれば、前記第 2 のミラー 5 のみを湾曲させてもよいし、両方のミラー 4, 5 を湾曲させてもよい。さらに代替的に、前記レーザービームの発散は、必ずしも湾曲したミラーによって変化させなければならないわけではない。発散の変化は、他の光学素子、例えばレンズ、若しくは 2 つ以上のミラー 4, 5 によっても可能である。

【 0 0 2 7 】

20

基本的に当該実施形態では、レーザービーム光源 9, 9'、ビームスプリッタ 2、ミラー 4, 5 及び重畳ミラー 3 のレーザービームの配向によって、重畳ミラー 3 の後と集束装置 6 の後のレーザービームの配向が決定され、ここでは少なくともミラー 4, 5 の曲率によって、集束装置 6 と焦点の間の距離が決定される。これにより、例えば分離ビームの異なる発散を有する同心のビームが生成され（ここでは図示しない）、あるいは（図示のように）分離ビームが重畳ミラー 3 の後で互いに所定の角度をなすようになる。同心状のビームのもとでは、分離ビームの発散に依存して、焦点は、同心状ビームの軸線上で集束装置 6 から異なる距離で生成され得る。集束装置 6 の後で互いに角度をなす分離ビームのもとでは、集束装置 6 と焦点との間の距離が異なるだけでなく、焦点の位置も、他の分離ビームの軸線上に存在しないように予め定められる。それにより、前記焦点の空間的な分離が、3 つの全ての空間方向で相互に実現し得る。

30

【 0 0 2 8 】

さらなる代替的实施形態によれば、ビームスプリッタ 2 と重畳ミラー 3 との間の介在空間が、第 1 の密閉空間 14 として任意に形成される。この第 1 の密閉空間 14 内の所定の圧力は、（制御装置によって駆動される）圧力調整装置（例えば駆動制御可能な圧力レギュレータ）によって設定調整することができ、周辺環境に対して相対的に変更させることが可能である。反射ビームの発散を変化させるために、ビームスプリッタ 2 および重畳ミラー 3 における反射面の曲率も、周辺環境に対する圧力の変化によって可変になる。これにより、集束装置 6 と焦点との間の距離が動作中も変更させることができるようになる。また代替的に、ビームスプリッタ 2 だけ、または重畳ミラー 3 だけを第 1 の密閉空間 14 に接触させることも可能である。

40

【 0 0 2 9 】

ミラー 4, 5 の任意の電動チルト機構も可能であり、その場合には、対応するチルト装置が制御装置によって駆動制御される。これにより、焦点 8 の位置を、動作中に変化させることが可能になる。この電動チルト機構とミラー曲率の調整との任意の組み合わせにより、前記焦点 8 の位置は、3 つの全ての空間方向で常時変更可能になる。

【 0 0 3 0 】

図 2 に示されている、異なる波長 λ_1 , λ_2 を有するレーザービームに対して代替的に、レーザービーム光源 9, 9' からのレーザービームがそれぞれ異なって偏光されてもよい。それにより、これらのレーザービームは、偏光状態に依存して透過若しくは反射される

50

。これにより、相応に分離されたビームが生成される。そのように異なる偏光で形成された分離ビームは、図2または図3に示されたレーザービーム12, 13と同じように操作される。

【0031】

図4には、ビーム案内装置22のさらなる実施形態が示されており、ここでは第1の反射された分離ビーム11も、第1の透過された分離ビーム10'も、操作されている。これらの分離ビーム10', 11は、ここでもビームスプリッタ2によって生成されている。上述したように、レーザービーム光源9（または、複数のレーザービーム光源9, 9'）のレーザービーム10は、当該レーザービーム10の様々な特性を有効利用することによって分割することが可能である。

10

【0032】

第1の透過された分離ビーム10'の操作に対して、ここでは第3のミラー15と第4のミラー16と、第5のミラー17と、第6のミラー18とが設けられている。これらのミラー15乃至18のうちの1つ若しくは複数を代替的に別のレンズによって置き換えることも可能である。その他にもこれらの4つのミラー15乃至18のすべてが必ずしも必要なわけではないので、他の適当な数のミラーが代替的に設けられてもよい。

【0033】

第1の透過された分離ビーム10'は、第3のミラー15によって反射されて偏向され、第1の透過された分離ビーム10'が上述の実施形態と同じ様に操作される。それにより、その方向と発散が変更され、集束装置6から所定の（間隔）距離の所定の位置に、第1の焦点7が形成される。

20

【0034】

ここでも、第3のミラー15と第6のミラー18との間の介在空間に、第2の密閉空間19を（図示のように）任意に設けてもよいし、あるいは代替的に、前記ミラー15, 16, 17, 18のうちの別のいずれかの間に設けてもよいし、あるいは1つのミラーだけが第2の密閉空間19に境を接するだけでもよい。この第2の密閉空間19においては、周囲に対して所定の圧力が設定され、それが変更されるものであってもよい。それにより、集束装置6に入射する分離ビーム10'の分散が変化し、これによって、集束装置6と焦点との間の距離が変更される。

【0035】

30

1つまたは複数のミラー15, 16, 17, 18の任意の電動チルト機構によって、集束装置6に入射する分離ビーム10'の照射方向が設定され、前記1つまたは複数のミラー15, 16, 17, 18の曲率を調整することによって、集束装置6と焦点7との間の距離が設定され、それによって、前記焦点7の位置が設定調整される。

【0036】

図5には、偏光エラーまたは位相ずれを補償するための、第5実施形態によるビーム案内装置22のビームパスが概略的に示されている。

【0037】

透過ビームが、純粋に線形偏光されていない場合であって、線形偏光されるレーザービームの偏光面が偏向面内にある場合は、偏光エラーが生じる。任意の偏光面の場合、または、特に円偏光の場合には、透過ビームが、偏向面に対して垂直及び平行に入射する2つの偏光成分（s偏光対p偏光）のコーティングに系統的に依存する位相シフトを被る。この系統的位相シフトは、透過ビームに対しても反射ビームに対しても発生する。

40

【0038】

図5中のビームスプリッタ2は、レーザービーム12と第1の反射された分離ビーム13とによって形成される平面が、第3の反射された分離ビーム13''（これは第2のミラー5によって反射されている）と、第4の反射された分離ビーム13'（これは重畳ミラー3によって反射されている）とによって形成される平面に対して垂直に配置されるように配設されている。ここで重要なことは、前記2つの平面が互いに直交していることであり、それによって、入射レーザービーム12のp（s）偏光成分が一回はp（s）偏光

50

として、一回はs (p) 偏光として、2つの光学素子2および3を通過する。その結果2つの偏光成分は全体で同じ位相シフトを受け取り、それによって相対的な位相エラーが補償される。つまりレーザービームの透過成分ないし透過された分離ビーム13' "の偏光は、入射レーザービーム12の偏光に等しい。

【0039】

系統的な位相シフトは、反射されたレーザービームに対しても発生する。この位相シフトは、1つまたは複数の反射光学素子2, 3, 4, 5における偏向角度の適切な選択により、および/または、光学素子2と3の間の1つまたは複数の反射された分離ビーム13, 13', 13"のビームパス内での1つまたは複数のさらなる光学素子の使用により、レーザービームの反射成分ないし反射された分離ビーム13' "に対しても補償可能である。

10

【0040】

動作中は、EUV励起光源1により、EUV (極端紫外線) ビームを生成するためのレーザービームが照射される。2つのシードレーザーにより、EUV励起光源1内ではそれぞれ、10.59 μm の波長 λ_1 を有するレーザービームと、10.26 μm の波長 λ_2 とを有するレーザービームとが生成される。これらのレーザービームは、第1の増幅段の前で重畳され、当該増幅段において増幅される。増幅されたレーザービーム10は、次にビームスプリッタ2に入射する。このビームスプリッタ2は、一方の波長を有するレーザービームは反射し、他方の波長を有するレーザービームは透過するように設計されている。例えば、より大きな波長を有するレーザービームは透過され、より小さな波長を有するレーザービームは反射される。その後透過ビーム10'は、重畳ミラー3に入射し、そこを通過して、集束装置6に入射する。この集束装置6は、当該レーザービームを第1の焦点7に集束する。第1の反射ビーム11は、ミラー4, 5によって反射され、重畳ミラー3に入射する。当該重畳ミラー3によって前記反射ビームは集束装置6方向に偏向され、該集束装置6は、当該レーザービームを、第2の焦点8に集束する。10.26 μm の波長 λ を有するレーザービームを放射するシードレーザーは、EUV励起光源1からプリパルスが放射されるように駆動制御され、前記プリパルスは、所定の時点A、所定の位置Aにて、時間依存性の位置の第1の焦点7において、放物線状の軌跡上で複数の焦点を形成するレーザービームの光軸を横切るように移動する錫ドロップレットに入射する。このプリパルスは、約3.5 kWの平均出力を有する。それにより前記錫ドロップレットは変形され、加熱され、膨張する。その後、10.59 μm の波長 λ を有するレーザービームを放射するシードレーザーが、駆動制御され、それによってメインパルスが放射される。膨張した錫ドロップレットが継続移動している間に、それが、所定の時点B、所定の位置B、時間依存性の位置における第2の焦点8において、プラズマ発光のために前記メインパルスによって励起される。このメインパルスは、35 kWの平均出力を有している。

20

30

【0041】

13.5 nmで生じた光は、例えば、半導体製造用のウエハの露光に使用される。EUVビームの生成とその生成の最適化にとって重要なことは、プラズマ発光のための錫ドロップレットを励起するために、所定の時点Aから所定の時点Bまでの時間間隔だけでなく、所定の位置Aから所定の位置Bまでの空間位置を正確に定めることにある。前記焦点の時間依存性の位置の固定的な設定は、経験的に行われ、すなわち事前に、例えば測定によって求めた所要値を用いて手動でミラーを調整することによって行われる。代替的に、EUV励起光源1を含んだEUV光生成システムは、検出装置を備え、該検出装置は、錫ドロップレットの時間依存性の位置も、プリパルスおよびメインパルスの焦点の時間依存性の位置も、例えば有効性の検出を介して検出し、そのような検出値を介して制御装置により、前記焦点の時間依存性の最適な位置が求められて、焦点位置設定のための調節手段に転送され、それによってプリパルスとメインパルスとが可及的に正確に錫ドロップレットに照射される。前記有効性の検出は、放射されたEUV光の強度を検出することによって行うことができる。

40

【0042】

50

代替的に、錫ドロップレットの位置は、軌道曲線が既知である場合には、その軌道曲線と軌道速度に沿った錫ドロップレットの移動の開始時点に基づいて算出することも可能である。

【 0 0 4 3 】

代替的に、唯 1 つのシードレーザーの使用も可能である。その場合にはシードレーザービームが、可動ミラーによって偏向される。但し、プリパルスとメインパルスの間の時間間隔は非常に短い（約 $1 \mu s$ ）。

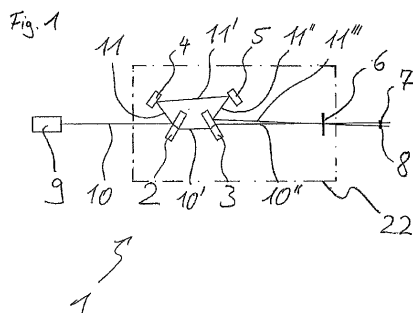
【 0 0 4 4 】

代替的变化実施例によれば、 CO_2 レーザー（図 2 中に符号 9' で示されている）からのレーザービームも、YAGレーザー（図 2 中に符号 9 で示されている）からのレーザービームも、ビーム案内装置 22 に導入され得る。約 35 kW のメイン出力をもたらす CO_2 レーザーからの光と、約 500 W の出力をもたらす YAG レーザーからの光は、光学素子 20 として石英ガラスからなるディスクに配向される。石英ガラスは、 CO_2 レーザーからのレーザービームに対しては反射性であり、YAG レーザーからのレーザービームに対しては透過性である。しかしながら CO_2 レーザーからのレーザービームは、図 2 に示されているものとは異なり、光学素子 21 によって偏向されることなく、光学素子 20 に直接配向可能である。

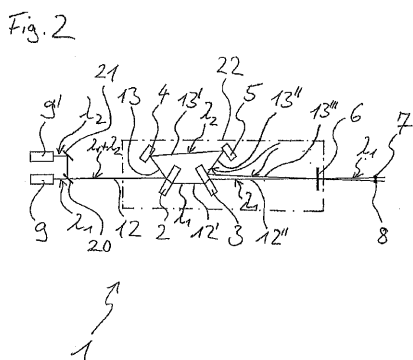
【 0 0 4 5 】

前述してきた複数の実施形態は、それぞれ限定を意味するものではなく、むしろ、EUV 光の放射のためのターゲット材料の最適な励起を達成するために、相互に組み合わせることが可能である。さらに前記ビーム案内装置には、前述してきた実施形態に含まれていない、さらなる構成要素が代替的に含まれていてもよい。

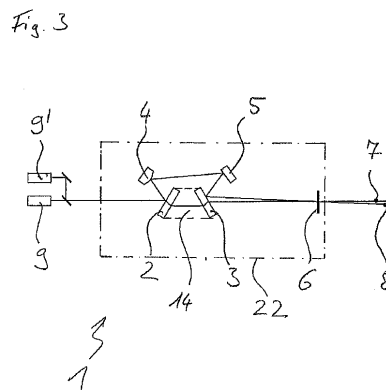
【 図 1 】



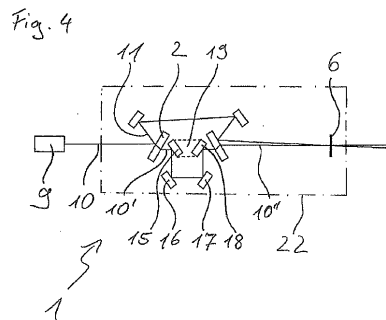
【 図 2 】



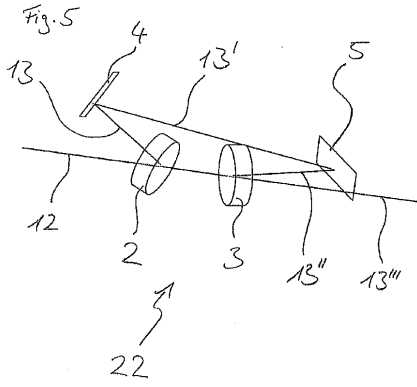
【 図 3 】



【 図 4 】



【図5】



フロントページの続き

- (74)代理人 100114890
弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト
- (74)代理人 100116403
弁理士 前川 純一
- (74)代理人 100135633
弁理士 二宮 浩康
- (74)代理人 100162880
弁理士 上島 類
- (72)発明者 マーティン ランベアト
ドイツ連邦共和国 コアブ ビュールシュトラッセ 37
- (72)発明者 ヨアヒム シュルツ
ドイツ連邦共和国 ゲアリンゲン クリストフシュトラッセ 37

審査官 原 俊文

- (56)参考文献 特開2005-017274(JP,A)
特開2005-243624(JP,A)
特開2003-270551(JP,A)
特開2010-186735(JP,A)
特開2002-328212(JP,A)
特表2010-506425(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H05G 2/00