

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5368478号
(P5368478)

(45) 発行日 平成25年12月18日 (2013.12.18)

(24) 登録日 平成25年9月20日 (2013.9.20)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 L 21/027 (2006.01)
 GO 3 F 7/20 (2006.01)
 HO 5 G 2/00 (2006.01)
 GO 2 B 5/10 (2006.01)

HO 1 L 21/30 5 3 1 S
 HO 1 L 21/30 5 3 1 A
 GO 3 F 7/20 5 2 1
 HO 1 L 21/30 5 1 5 D
 HO 5 G 1/00 K

請求項の数 20 (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2010-543446 (P2010-543446)
 (86) (22) 出願日 平成21年1月28日 (2009.1.28)
 (65) 公表番号 特表2011-512647 (P2011-512647A)
 (43) 公表日 平成23年4月21日 (2011.4.21)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2009/000539
 (87) 国際公開番号 W02009/095220
 (87) 国際公開日 平成21年8月6日 (2009.8.6)
 審査請求日 平成24年1月24日 (2012.1.24)
 (31) 優先権主張番号 08001536.5
 (32) 優先日 平成20年1月28日 (2008.1.28)
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(73) 特許権者 509105237
 メディア ラリオ ソシエタ ア レスポ
 ンサビリタ リミタータ
 MEDIA LARIO S. R. L.
 イタリア共和国, レッコ, イー23842
 ボジージオ パリーニ, ロカリタ パス
 コロ
 Localita Pascolo, I-
 23842 Bosisio Parini,
 Lecco, Repubblica
 Italiana
 (74) 代理人 100129012
 弁理士 元山 雅史
 (74) 代理人 100139549
 弁理士 原田 泉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ生成プラズマ源の斜入射集光光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

極紫外線及びX線放射用の光源 - 集光光学系であって、軸に沿って、
 燃料ターゲットを有し、前記燃料ターゲットがレーザ光により照射されるとき放射を行
 うレーザ生成プラズマ (LPP) 源と、
 前記軸に沿って前記 LPP 源に相対的に配され、前記放射の一部を集光し、前記軸上の
 中間焦点に向ける、斜入射集光器と、
 前記 LPP 源と前記中間焦点との間に前記軸に沿って配され、前記軸に沿って前記燃料
 ターゲットに対しレーザ光を反射させるミラーと、
 を備え、

レーザ光は前記軸に沿って前記ミラーに入射し、
 前記ミラーに反射したレーザ光は前記軸に沿って前記燃料ターゲットに戻って向けられ
 る、

光源 - 集光光学系。

【請求項 2】

前記燃料ターゲットは、Li、Sn、又はXeを含む、
 請求項 1 に記載の光源 - 集光光学系。

【請求項 3】

前記燃料ターゲットは、燃料液滴ジェネレータから出される燃料液滴を含む、
 請求項 2 に記載の光源 - 集光光学系。

【請求項 4】

更に、前記燃料ターゲット上にレーザ光を合焦させるレンズを備える、
請求項 1 に記載の光源 - 集光光学系。

【請求項 5】

前記斜入射集光器は、斜入射集光器の温度分布を管理する熱管理システムを有する、
請求項 1 に記載の光源 - 集光光学系。

【請求項 6】

前記斜入射集光器は、同心に配され又は入れ子状の斜入射ミラーを備える、
請求項 1 に記載の光源 - 集光光学系。

【請求項 7】

前記斜入射ミラーは、電鍍金属から形成されてなる、
請求項 6 に記載の光源 - 集光光学系。

【請求項 8】

前記斜入射ミラーは、反射コーティングがなされた光学面をそれぞれ有する、
請求項 7 に記載の光源 - 集光光学系。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の集光光学系と、
前記集光光学系に相対的に配され同光学系からの放射を受光する光学集光レンズと、
前記光学集光レンズからの放射を受光する反射マスクと、
を備える、リソグラフィシステム。

【請求項 10】

極紫外線及び X 線放射用の光源 - 集光光学系であって、軸に沿って、
燃料ターゲットを有するレーザ生成プラズマ (L P P) 源と、
前記燃料ターゲットに向けられ放射されるレーザ光を生成するレーザと、
前記軸に沿って前記 L P P 源に相対的に配され、前記放射の一部を集光し、中間焦点に
向ける、入れ子状の電鍍ミラーを有する斜入射集光器と、
前記 L P P 源と前記中間焦点との間に前記軸に沿って配され、前記軸に沿って前記燃料
ターゲットに対しレーザ光を反射させるミラーと、
を備え、

レーザ光は前記軸に沿って前記ミラーに入射し、
前記ミラーに反射したレーザ光は前記軸に沿って前記燃料ターゲットに戻って向けられ
る、
光源 - 集光光学系。

【請求項 11】

極紫外線及び X 線放射用の光源 - 集光光学系であって、軸に沿って、
燃料ターゲットを有するレーザ生成プラズマ (L P P) 源と、
前記燃料ターゲットに向けられ放射されるレーザ光を生成するレーザと、
前記軸に沿って前記 L P P 源に相対的に配され、前記放射の一部を集光し、中間焦点に
向ける、入れ子状の電鍍ミラーを有する斜入射集光器と、
前記斜入射集光器に隣接して前記 L P P 源の反対側に軸に沿って配され、前記軸に沿っ
て前記斜入射集光器を通してレーザ光を反射するミラーと、
を備える、光源 - 集光光学系。

【請求項 12】

前記燃料ターゲットは、燃料液滴ジェネレータより出される S n の液滴である、
請求項 10 又は 11 に記載の光源 - 集光光学系。

【請求項 13】

各電鍍ミラーは、反射コーティングされた光学面を有する、
請求項 10 又は 11 に記載の光源 - 集光光学系。

【請求項 14】

前記電鍍ミラーは、同心に配されている、

10

20

30

40

50

請求項 10 又は 11 に記載の光源 - 集光光学系。

【請求項 15】

請求項 10 又は 11 に記載の集光光学系と、
前記集光光学系に相対的に配され同光学系からの放射を受光する光学集光レンズと、
前記光学集光レンズからの放射を受光する反射マスクと、
を備える、リソグラフィシステム。

【請求項 16】

極紫外線又は X 線放射を集光する方法であって、
集光器軸を有する斜入射集光器を設け、
前記集光器軸上であって前記斜入射集光器との相対位置に燃料ターゲットを配し、
レーザ光により前記燃料ターゲットを照射して、前記放射を行うレーザ生成プラズマ (LPP) 源を形成し、
前記斜入射集光器で前記放射の一部を集光し、集光された放射を中間焦点に向け、
前記 LPP 源と前記中間焦点との間に前記軸に沿って配されたミラーにより、前記軸に沿って前記燃料ターゲットに対しレーザ光を反射させる方法であって、
レーザ光は前記軸に沿って前記ミラーに入射し、
前記ミラーに反射したレーザ光は前記軸に沿って前記燃料ターゲットに戻って向けられる、
方法。

【請求項 17】

前記燃料ターゲットを、燃料液滴ジェネレータより出される Sn の液滴とする、
請求項 16 に記載の方法。

【請求項 18】

極紫外線又は X 線放射を集光する方法であって、
集光器軸を有する斜入射集光器を設け、
前記集光器軸上であって前記斜入射集光器との相対位置に燃料ターゲットを配し、
レーザ光により前記燃料ターゲットを照射して、前記放射を行うレーザ生成プラズマ (LPP) 源を形成し、
レーザ光が前記斜入射集光器を通り前記軸に沿って反射するように、ミラーを前記斜入射集光器に隣接して前記 LPP 源の反対側に前記軸に沿って配し、
前記斜入射集光器で前記放射の一部を集光し、集光された放射を中間焦点に向けること
を含む、方法。

【請求項 19】

前記斜入射集光器を同心に配された電鍍ミラーにより形成することを含む、
請求項 16 に記載の方法。

【請求項 20】

極紫外線及び X 線放射用の光源 - 集光光学系であって、軸に沿って、
燃料ターゲットを有し、前記燃料ターゲットがレーザ光により照射されるとき放射を行うレーザ生成プラズマ (LPP) 源と、
前記軸に沿って前記 LPP 源に相対的に配され、前記放射の一部を集光し、前記軸上の中間焦点に向ける、斜入射集光器と、
前記斜入射集光器に隣接して前記 LPP 源の反対側に軸に沿って配され、前記軸に沿って前記斜入射集光器を通してレーザ光を反射するミラーと、
を備える、光源 - 集光光学系。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、EUV及びX線用の反射光学系に関し、特にレーザ生成プラズマ(LPP)源の斜入射集光光学系に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

本発明は、EUV及びX線光が用いられる状況の多様な用途があるが、特にリソグラフィや撮像の用途として有益である。

【 0 0 0 3 】

EUVリソグラフィシステムの簡略化したブロック図を図1(先行技術)に示す。13.5nmのEUV源102は、通常はホットプラズマであり、そこからの発光は集光器104に集光され、中間焦点(IF)を介して照射器106に伝えられる。照射器は、マスクやレチクル108にパターンを照射し、同パターンはウエハ110に転写される。マスクやレチクルの像は、投射光学ボックス112によってウエハ110に投影される。集光器104の主な目的は、光源102からの帯域内パワーの最大出力を照射器106に伝えることであって、これは光源102と照射器106自身による制限を整合させることにより行われる。IFにおけるEUV出力全てと、2srで光源102によって発光されるEUV出力全てとの間の比率を「集光効率」と呼ぶ。集光器104の光学設計の第一の目標は、光源102と照射器106による境界の制限を整合させつつ、集光効率を最大化にすることである。

【 0 0 0 4 】

好適な用途では、EUV光はおよそ13.5nmの波長を有し、これには、二つのタイプのプラズマ源がかかる光を発生させ得る解決手段として現在考えられている。それは、放電生成プラズマ(DPP)源とレーザ生成プラズマ(LPP)源である。前者の場合、プラズマは燃料(Sn、Xe等)による放電により生成される。後者の場合、プラズマは、レーザ光が燃料ターゲット(Li、Sn、Xe等)に衝撃を与えることによって生成される。

【 0 0 0 5 】

LPP源としては、従来の最適な構成が図2(先行技術)に示されている。特許文献1を参照のこと。単一の楕円形(集光)ミラー104が光源102の後に配されている。この標準的な構成では、レーザ光204は、ミラー104のIFとは反対側から、ミラー104の中心の孔206を通して光源(焦点)102における燃料ターゲットに到達する。ミラー104の入射角は通常約30°よりも小さく、13.5nmにおいて十分な反射を確実に実現するためには(通常Mo及びSiのスタックからなる)マルチレイヤコーティングが必要となる。小さな入射角のミラーとしてここでは垂直入射ミラー(NIM)と称する。図2の構成が最も効率的である。しかし、この構成は次のようないくつかの欠点を有する。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【 特許文献1 】 米国特許第2005/0199829号明細書

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

- 1) 図2の楕円形NIMは、複雑且つ高コストなMo/Siマルチレイヤコーティングを必要とする。
- 2) NIMの表面領域は比較的小さいため、結果的に熱負荷密度が非常に高い。これにより、NIMの熱制御は困難となる。
- 3) プラズマ源のほとんどの出力は約10nmから120nmの間であるが、マルチレイヤコーティングが13.5nm付近の極めて狭い帯域幅でしか反射しない非常に狭い通過帯域として作用するため、熱負荷の総量はNIMでは高くなる。これにより更にNIMの

熱制御が複雑となる。

4) 図2の構成は、DPP源では一般的に使用されるデブリ軽減ツール(DMT)が使用できなくなる。このタイプのDMTは、光源からの高速の粒子の速度を弱めるため、光源付近に放射状に配されガス(Ar、N₂等)が充填された多数のラメラからなる。しかし、このタイプのDMTは図2の構成における放射を完全に遮ってしまう。

5) 光源からの高エネルギーのイオンや粒子による反射層の腐食を解消し、ミラーの寿命を延ばすためには、反射層の厚みを増やす必要がある。しかし、NIMにおいては、これはマルチレイヤコーティングの層の数を増やすことになると共に、製造工程を複雑にし、製造コストを増加させる。

6) (一単位領域毎の)イオンや粒子の流れは、NIMにおいては小さな領域のわりには比較的高い。よって、腐食及び/又は堆積はNIMにおいては比較的高い。

10

【0008】

本発明は上記及びその他の問題に対応することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の一の観点によれば、13.5nm等のEUV及びX線用の光源-集光光学系であって、レーザ生成プラズマ(LPP)源と組み合わせた斜入射集光器を備える光学系が提供される。

【0010】

好適には、一以上の他の光学要素が、EUV又はX線プラズマ源を生成するために使用される一以上のレーザ光に作用することにより、前記レーザ光は、燃料ターゲットに対しその中間焦点が配された側から衝撃を与える。

20

【0011】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ(LPP)源と組み合わせた斜入射集光器を13.5nm等のEUV及びX線用に使用する方法が提供される。

【0012】

本発明の他の観点によれば、EUV及びX線用の集光器であって、プラズマ光源からの光を中間焦点に対し集光器によって反射し、光源と中間焦点とを結ぶ線は光軸を形成し、光軸上の第1方向は光源から中間焦点まで形成され、集光器は一以上の斜入射ミラーを備え、集光器は、(a)前記第1方向とは反対方向である第2方向において、又は(b)前記第2方向に対し鋭角で、光源に入射するように受光したレーザ光の向きを変える一以上の他の光学要素を備えることを特徴とする集光器が提供される。

30

【0013】

一実施形態においては、前記一以上の他の光学要素は、平面ミラーを備え、光軸に平行でない方向に伝播する前記受光したレーザ光を反射させる。一実施形態においては、平面ミラーは集光器と中間焦点との間に配される。一実施形態においては、平面ミラーは集光器の光源と反対側に配される。好適には、平面ミラーは光軸上に配される。好適には、平面ミラーは光軸に対し45度の平面に配され、前記光軸に交わる方向に伝播する前記受光したレーザ光を反射する。

【0014】

他の実施形態においては、前記一以上の他の光学要素は光源と中間焦点との間に配された球面ミラーを備え、光源の集光器とは反対側から前記第1方向に伝播する前記受光したレーザ光を反射する。好適には、球面ミラーは光源と集光器との間に配されるか、光源に最も近い集光器の端部に配される。

40

【0015】

他の実施形態においては、前記一以上の他の光学要素は、光源の集光器とは反対側に配され、光源の集光器とは反対側から前記第1方向に伝播する前記受光したレーザ光の焦点を合わせるための凸レンズと、光源と中間焦点との間に配され、光源に向かって前記第2方向に伝播する前記レーザ光を反射させる平面ミラーとを備える。

【0016】

50

他の実施形態においては、前記一以上の他の光学要素は、光源と中間焦点との間に配され、前記光軸に交わる方向に伝播する前記レーザ光を反射させるとともに、光軸に対し45度の平面に配された平面ミラーと、平面ミラーと光源との間に配され、光源上にレーザ光の焦点を合わせる凸レンズと、を備える。

【0017】

本発明の他の観点によれば、LPP源等の光源と、添付の請求の範囲の請求項4から11のいずれかに記載の集光光学系と、光学集光レンズと、反射マスクとを備える、EUVリソグラフィシステムが提供される。

【0018】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた約13.5nmで用いられる集光器であって、5から16、好適には6から12の同心に配されたミラーであって、光源からの最大集光角度が約40度から約85度、好ましくは約45度から約75度とするために、入射光とミラーの反射面との間の最大グレージング角が約30度、好ましくは約25度となるような斜入射で作用するミラーを備える、集光器が提供される。

10

【0019】

一実施形態においては、各ミラーはWolterミラーを備える。一実施形態においては、各ミラーは楕円形ミラーを備える。一実施形態においては、各ミラーは「等反射角」(equal reflection angle)ミラーを備える。一実施形態においては、各ミラーは「軸外Wolter」(off-axis Wolter)ミラーを備える。

【0020】

一実施形態においては、集光器は、複数の同心に配された異なる構成のミラーを備え、同設計はWolter、楕円形、「等反射角」、「軸外Wolter」を含む。

20

【0021】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーを備え、同ミラーは金属、好適にはNi、Cu又はAlからなり、ミラーの厚みが約0.5mmから約4mmの間、好適には約1mmから3mmの間となるようにダイヤモンド旋盤により形成された、集光器が提供される。

【0022】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーを備え、同ミラーは、ミラーの厚みが約0.5mmから約4mmの間、好適には約1mmから約3mmの間となるように金属電鍍、好適にはNi又はCuにより形成された、集光器が提供される。

30

【0023】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーを備え、同ミラーは、マルチレイヤの電鍍金属からなり、同マルチレイヤは、好適には約0.01mmから約0.3mmの厚みを有するNiの薄い層と、続く好適には約0.5mmから約4mmの厚みを有するCuの厚い層と、続く好適には約0.01mmから約0.3mmの厚みを有するNiの薄い層とを備える、集光器が提供される。

40

【0024】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーを備え、同ミラーは、マルチレイヤの電鍍金属からなり、同マルチレイヤは、好適には約0.01mmから約0.3mmの厚みを有するNiCo合金の薄い層と、続く好適には約0.5mmから約4mmの厚みを有するCuの厚い層と、続く好適には約0.01mmから約0.3mmの厚みを有するNiCo合金の薄い層とからなる、集光器が提供される。

【0025】

好適には、電鍍ミラーは、1mmから10nmの空間波長範囲において好適には2nm未満の表面粗さを有し、更に好適には、1mmから10nmの空間波長範囲において1n

50

m未満の表面粗さを有する。

【0026】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーからなり、同ミラーは、分離層がAuとは異なる材料からなるか、若しくは適当な障壁材料を使用してAuをほぼ完全に流出させないことによってミラー基材と反射コーティングとの間にAuを遮蔽する電気鋳造により生成される、集光器が提供される。

【0027】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーからなり、ミラーは、1mmから10nmの空間波長範囲において好適には2nm未満の表面粗さを有し、更に好適には、1mmから10nmの空間波長範囲において1nm未満の表面粗さを有する、集光器が提供される。

10

【0028】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた13.5nm辺りで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーと、統合熱管理システムとを備え、前記統合熱管理システムは、使用において、ミラー及び支持構造体の温度を時間上ほぼ一定、好ましくは所望の温度に対して ± 5 以内、更に好ましくは ± 2 以内、更に好ましくは ± 1 以内に保ち、及び/又はミラー表面全体にわたってほぼ均一な温度、好ましくは所望の温度に対して ± 5 以内、更に好ましくは ± 2 以内、更に好ましくは ± 1 以内に保つ、集光器が提供される。

20

【0029】

好適には、統合熱管理システムは、制御フィードバックループと制御ソフトウェアとを含む。

【0030】

代わりに又は追加として、統合熱管理システムは、一以上のミラーの裏側等に取り付けられた冷却及び加熱素子を含む。好適には、同冷却加熱素子は、流体や移送遷移流体、ペルチェセル、ミラーの裏側を微細加工したり電鋳工程の際にミラーの裏側を適切にマスキングしたりすることによって得られるマイクロチャンネル、或いはジュール効果によって加熱された適当な流体やワイヤによって加熱されたパイプラインを備える。

30

【0031】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーを備え、ミラーの縁の同じ寸法を有する薄い円形の環状のシールドが一以上のミラーの入口縁の前方に配され、ミラーとわずかな限られた熱接触をするメカニカルなカップリングによって取り付けられて、シールドが完全又は部分的に光源又はミラーの縁を照射するデブリ軽減ツールからの光を防ぐ、集光器が提供される。

【0032】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーを備え、冷却されたパイプラインは一以上のミラーの入口縁の前方に取り付けられている、集光器が提供される。

40

【0033】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた13.5nm辺りで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーを備え、光学面が反射層によってコーティングされ、同反射層は、好適には(a)Pd、Au、Ir、Pt、Mo、Rhのうちの一つ、更に好適にはRuからなるか、(b)Pd、Au、Ir、Pt、Mo、Rh、及びRuのうち二以上からなるナノ複合合金からなり、反射層は約50nmから約500nmの厚みを有し、集光器の長さ方向の反射層の厚みが例えば均一である、集光器が提供される。

【0034】

50

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーを備え、ミラーの光学面は、(a)Pd、Au、Ir、Pt、Mo、Rh及びRuのうちの一つからなるか、(b)Pd、Au、Ir、Pt、Mo、Rh、及びRuのうち二以上からなるナノ複合金からなる反射層によってコーティングされ、同反射層は光源からのデブリによる腐食に対し集光器の寿命を延ばすために約500nmから約3000nmの厚みを有し、集光器の長さ方向の反射層の厚みは例えば均一である、集光器が提供される。

【0035】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源及びデブリ軽減ツールを用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーを備え、集光器の形状がデブリ軽減ツールの形状と整合させた、集光器が提供される。

10

【0036】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源及びデブリ軽減ツールを用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーと支持構造体とを備え、集光器の支持構造体とデブリ軽減ツールとは寸法が整合されており、整列されてオプスキュレーションの付加を防ぎ、デブリ軽減ツールと集光器との集光効率を最大化させる、集光器が提供される。

【0037】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーを備え、一以上のミラーは、その裏側等に光源からのデブリを軽減させる一以上の装置、例えば腐食検出器、ソレノイド、RF源を取り付けている、集光器が提供される。

20

【0038】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーと支持構造体とを備え、非強磁性材料からなる、集光器が提供される。

【0039】

本発明の他の観点によれば、レーザ生成プラズマ源を用いた約13.5nmで使用される集光器であって、複数の同心に配されたミラーを備え、ミラーの非反射面は、Rhの保護層によってコーティングされ、好適には50nmから3000nmの厚みを有し、好適には電気めっきによって堆積(deposit)された、集光器が提供される。

30

【0040】

好適には、ミラーは、好ましくは厚みが約0.5mmから約4mmの電鍍Cuと、同電鍍Cuの光学面上に設けられ、好ましくは厚みが50mmから3000nm、更に好ましくは約500から約3000nmの反射層とからなり、集光器の長さ方向の反射層の厚みは例えば均一である。

【0041】

本発明の他の観点によれば、請求項20から22のいずれかに記載の集光器の製造方法であって、マスクを作成し、同マスク上にミラーを電気鍍造し、同マスクは、ダイヤモンド旋盤によって製造され、空間波長範囲が1mmから10nmにおいては表面の粗さが2nm未満、好ましくは1nm未満の表面粗さを有するように研磨される、製造方法が提供される。

40

【0042】

本発明の他の観点によれば、マスクの製造方法であって、マスクは電気鍍造によりミラーを生成するためのものであって、ミラーは請求項20から22のいずれかに記載の集光器に使用され、同方法は、マスクを形成する基材を、空間波長範囲が1mmから10nmにおいてはマスクの表面の粗さが2nm未満、好ましくは1nm未満の表面粗さとなるようにダイヤモンド旋盤と研磨することを含む、製造方法が提供される。

【0043】

本発明の好適な実施形態によれば、複数の同心に配された2反射ミラーが、例えばタイ

50

プ I の W o l t e r 集光器に用いられる。集光器のミラーの入射角は、 $c \cdot 60$ 度（つまり、グレーティング角 $< c \cdot 30$ 度）よりも通常大きく、（例えば、Ru、Pd等を用いた）ミラー表面の単一層のコーティングは $13 \cdot 5 \text{ nm}$ において大きなトランスミッションを確実にするのに十分である。大きな入射角のミラーとしてここでは斜入射ミラー（GIM）と称する。

【発明の効果】

【0044】

本発明の効果は、GIM（例えば図3）は、マルチレイヤではなく、Ru、Pd等の反射モノレイヤコーティングで足りることである。

【0045】

本発明の別の効果は、GIMの表面領域はNIMよりもはるかに大きいため、熱負荷密度は従来の場合よりもはるかに低く、熱制御が容易となることである。

【0046】

本発明の別の効果は、GIMにモノレイヤを用いることによって、マルチレイヤの狭い通過帯域フィルタ効果を除外することができるため、熱負荷の総量はNIMよりもGIMの方が低くなることである。

【0047】

本発明の別の効果は、DPP源に一般に使用されるデブリ軽減ツール（DMT）を使用することでもできることである。

【0048】

本発明の別の効果は、マルチレイヤコーティングのレイヤ数を増やして反射層の厚みを増大させる必要は少なくなるか全くなり、光源からの高エネルギーのイオンや粒子によって反射層が腐食する問題を解消し、ミラーの寿命を延ばすことである。GIMにおいては、単一の反射コーティングの厚みだけを大きくすればよい。

【0049】

本発明の別の効果は、（領域単位の）イオンや粒子の流入はNIMよりもGIMの方が低い。これはGIMの領域が広いことに因る。その結果、均等なイオン・粒子流入レートでは、腐食及び／又は堆積はNIMよりGIMの方が小さい。

【0050】

本発明の実施形態について、添付の図面を参照しながら詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】（先行技術）公知のEUVリソグラフィシステムの一例を示す。

【図2】（先行技術）図1のEUVリソグラフィの集光光学系の一例で、LPP光源を用いたものを示す。

【図3】本発明の第1実施形態に係る斜入射集光器であって、LPP光源を用いたものを示す。

【図4】図3の集光器を用いたLPP光源の放射されたEUV出力の角度的な配置状態を示す。

【図5】本発明の第2実施形態に係る斜入射集光器を示す。

【図6】本発明の第3実施形態に係る斜入射集光器を示す。

【図7】本発明の第4実施形態に係る斜入射集光器を示す。

【図8】本発明の第5実施形態に係る斜入射集光器を示す。

【発明を実施するための形態】

【0052】

本明細書及び図面において、同じ符号は同様の要素を示す。特に記載しない限り、それぞれの設計上の要素及び部材はここに開示するその他の設計上の要素及び部材と組み合わせて用いてもよいものとする。

【0053】

ここで述べる光学要素又は光学系の例では、特に示さない限り、光軸を中心とする円筒

10

20

30

40

50

対称とし、「像焦点」は像焦点又は中間焦点を指す。

【0054】

図3は、本発明の第1実施形態に係る斜入射集光器302であって、LPP光源304を用いたものを示す。集光器302は、複数の同心に配されたミラー即ちシェル306からなる。この実施形態においては、図3に示すように、6つのミラー306がある。しかし、当然のことながら適当な数のミラーを使用できる。各ミラー306は同一又は異なる設計であってもよいが、Wolter、楕円形、「等反射角」、「軸外Wolter」によるものに限定されない。「等反射角」の斜入射集光器の設計は、例えば、欧州特許出願第06425539.1号で説明されている。「軸外Wolter」の斜入射集光器の設計は、例えば、欧州特許出願第06425634.0号で説明されている。

10

【0055】

本実施形態では、レーザー光308は、集光器302のIFと同じ側から平坦な折りたたみミラー310を介して伝播する。ミラー301に反射後、レーザー光308は（矢印A方向に）、光源（燃料）304（Li、Sn、Xe等）に向かって伝播する。LPP源304の角度のついた発光は異方性であってもよく、レーザー光の伝播と反対方向に発光のピークがある。放射されたEUV出力の角度的な配置状態の一例を図4に示す。図3に戻ると、この場合、光源304からの発光は異方性があり、光の最大強度の発光は集光器302に向かっている（つまり矢印Aとは反対方向）。

【0056】

<集光器ミラー（シェル）>

20

同心のミラー構成において、図3に示すWolter設計のように、ミラー306の厚みは、集光効率に直接的な影響を及ぼす。これは、光源304から発光されたEUV光の一部がミラーの厚みによってブロックされるからである。集光効率を可能な限り最大限にするため、ミラー306の厚みはできるだけ小さくしなければならない。従って、ミラー306の製造には金属が適宜使用される。これにより、ミラーの厚みを小さくすることができ、自重によりミラーが変形することを防ぐための十分なメカニカル且つ構造的な剛性を付与する。

【0057】

プラズマ源から発光されたEUV光の一部は、光源から放射された全出力、約数キロワットの大きな出力のうちのわずかな部分にすぎず、集光器ミラーの反射面に当たる。この出力の一部は、集光器によって吸収され、ミラーが過度に変形することを防ぐため適宜設計された冷却システムによって除去されなければならない。よって、ミラーの製造に金属を用いることにより十分に大きな熱伝導性が付与され、ミラーによって吸収された熱を冷却システムに流れるようにすることができる。

30

【0058】

ミラーの厚みは、光源からの光のオプスキュレーションを制限する必要性と、熱伝導性をできる限り増加させる必要性とをトレードオフとして適宜選択しなければならない。よって、代表的な使用例としては、厚みは約0.5mmから4mmである。

【0059】

同様に、ミラー306用の金属の選択は、ミラー306の十分な剛性を確保する必要性と、熱伝導性をできる限り増加させる必要性とをトレードオフとする。ミラーの製造に適した材料の例としては、Ni、Al、Cuがある。EUV及びX線を用いるミラーは精度が高く極めて低い粗さ（好適には1-2nm rms未満）が必要であるため、ミラーは当業者に知られているダイヤモンド旋盤によって適宜製造される。

40

【0060】

代わりに、金属ミラーは、当業者に知られている技術を用いて負のマスタ（図示せず）から電気鋳造によって製造されてもよい（例えば、WO0184747を参照）。電気鋳造による生成により以下のことが可能となる。

1. 薄い金属のシェルの製造
2. マスタの形状の再現、特に2反射ミラーでは、モノシリック構造の二つの反射面の再

50

現が可能であり、しかもその二面間において他の光学的な整合を必要とすることがない
 3. 典型的には $1 - 2 \text{ nm rms}$ 未満で研磨されるマスタの粗さの再現 (1 mm から 10 nm の空間波長範囲において十分に高い反射率を確実にするため) であり、ミラーの内側面よりもはるかに簡単に研磨できる

電鍍工程によってマスタの形状が再現されるため、マスタは最終製品のミラーの光学的性能を確実に満たすのに十分な表面精度を有する必要がある。良好な性能を実現するため、マスタはダイヤモンド旋盤によって製造されてもよい。

【0061】

電気鍍造されたミラーは、Ni や Ni - Co 合金を含む多様な金属で製造してもよい。電気鍍造されたミラーは Cu で製造されてもよく、これにより熱伝導性を高めることができる。後者の場合、銅は汚染の原因となり得るため、動作環境においては使用できないかもしれないため、電気鍍造されたミラーは、好適には厚みが約 0.01 mm から約 0.3 mm の Ni の薄い層と、続いて好適には厚みが 0.5 mm から 4 mm の Cu の厚い層と、続いて好適には厚みが約 0.01 mm から約 0.3 mm の Ni の薄い層とからなるマルチレイヤ構造で製造することができる。代わりに、電気鍍造されたミラーは、好適には厚みが約 0.01 mm から約 0.3 mm の Ni - Co 合金の薄い層と、続いて好適には厚みが 0.5 mm から 4 mm の Cu の厚い層と、続いて好適には厚みが約 0.01 mm から約 0.3 mm の Ni - Co 合金の薄い層とからなるマルチレイヤ構造で製造することができる。

【0062】

電鍍工程の前に、適切な分離層をマスタに堆積させることにより、電鍍工程の終わりにミラーがマスタから取り外すことができるようにする。分離層として使用される代表的な材料は、Au (金) であり、取り外し後はミラーの光学面全体に固着する。Au は動作環境を汚染する場合があるため、かかる環境においては使用できない。この場合は二つの解決策を用いることができる。

1. 異なる分離層、例えばミラーの面に固着しない窒化物層、炭化物層、炭窒化物層等、不活性セラミック材料を選択できる

2. 適切な障壁材料を用いてミラー基材と反射層との間に Au を遮蔽することができる

また、集光器 302 は、シェル (ミラー 306) の温度を略一定且つ均一に保ち、プラズマ源 304 からの大きな熱負荷によって引き起こされる過度の変形を防ぐことができる。熱制御システム (図示せず) は、ミラー 306 の裏面の光源 304 からの光の光路をブロックしない領域に一体的に設けられる。統合熱管理システム (図示せず) は、(a) 適切な流体によって冷却されるパイプ、(b) ペルチェセル、(c) 位相遷移流体によって冷却されるパイプ、(d) ミラーの裏面を微細加工すること或いは電鍍工程の際にミラーの裏面を適宜マスキングすることによって得られるマイクロチャンネル等の冷却素子を含む。統合熱管理システム (図示せず) は、代わりに又は追加として、ジュール効果によって加熱された適当な流体やワイヤによって加熱されたパイプ等の加熱素子を含む。統合熱管理システム (図示せず) は、代わりに又は追加として、温度センサや熱制御のハードウェアやソフトウェアを有する。

【0063】

上記素子は、全てフィードバック制御ループを含む統合熱管理システム (図示せず) において集積されていてもよい。かかる統合熱管理システム (図示せず) においては、ミラー及び全ての支持構造体の温度分布は、リアルタイムに監視され、冷却素子 (図示せず) と加熱素子 (図示せず) とを動作させ、ミラー 306 及び支持構造体の温度を時間上一定に保ちミラー表面の均一性と保つためのフィードバック信号として使用される。各ケースにおいて、かかる制御は、所望の温度に対し ± 5 以内、更に好ましくは ± 2 以内、更に好ましくは ± 1 以内の差を含む。

【0064】

ミラー 306 の入口縁 312 の熱負荷はほぼ垂直入射角であるため、かかる熱負荷は縁 312 によって完全に吸収されるため、隣接する反射面の部分的変形を引き起こす可能性

がある。かかる熱を防ぐため、次の二つの解決策のうちいずれか又は双方を採用することができる。

【 0 0 6 5 】

1. ミラーの縁と同じ寸法を有する薄い円形の環状のシールドを、ミラーとわずかな限られた熱接触をするメカニカルなカップリング（図示せず）介して、ミラー入口縁 3 1 2 の前方に配する

2. ミラー入口縁 3 1 2 の前方に流体冷却パイプライン（図示せず）を取り付ける

ミラーシェル 3 0 6 が取り付けられる集光器 3 0 2 の支持構造（図示せず）はまた、例えば、周囲のボディ（図示せず）からの熱放射や真空空間（図示せず）における不純なプラズマ等による熱負荷の影響を削減又は排除するため、冷却される。

10

【 0 0 6 6 】

プラズマ源 3 0 4 は、イオン、中性原子、デブリである汚染及び腐食物質を生成するため、集光器ミラー 3 0 6 の反射コーティング（図示せず）は、好適には適切なデブリ軽減ツール（DMT）（図示せず）を用いてクリーニング技術により適宜保護される。そして集光器 3 0 2 は、オブスキュレーション等を制限するため、支持構造体（図示せず）の寸法や位置が DMT（図示せず）と整合されていなければならない。集光器 3 0 2 自身が、腐食検出器、ソレノイド及び RF 源、保護層等のデブリ軽減又は保護システム（図示せず）を備えていてもよい。好ましくは、集光器はまた、光学（ミラー）面上の非反射物質の堆積を除去するために必要なクリーニング環境と整合するように設計されている。特に、非光学面は全て、好適には厚みが 5 0 nm から 3 0 0 0 nm の Rh の保護層によって適宜カ

20

【 0 0 6 7 】

ミラー 3 0 6 の反射面（図示せず）においては、反射コーティング（図示せず）の厚みは約 5 0 nm から約 5 0 0 nm が適切である。しかし、プラズマ源 3 0 4 からの活発なイオンや中性子、デブリの存在（光学材料のスputteringの閾値を超えるエネルギーをもつ）により、反射コーティング（図示せず）は腐食することがある。集光器の寿命を延ばすためには、好適には厚みを大きくした反射コーティング（図示せず）が用いられ、その厚みは好ましくは 5 0 0 nm から 3 0 0 0 nm の間の厚み又はそれ以上である。集光器の長さ方向の反射コーティングの厚みは均一であってもよいが、必ずしも均一である必要はない。

30

【 0 0 6 8 】

LPP 源では、プラズマ源 3 0 4 からのイオンのフラックスやスペクトラムを制御する一つの有用な方法は、適度な磁界を介することである。従って、集光器 3 0 2 は強い磁界（約 1 T 以上）を生成するための電磁石（図示せず）によって包囲するようにしてもよい。この磁界は、集光器 3 0 2 が Ni や Ni - Co 合金等の強磁性材料を含むと集光器 3 0 2 の変形の原因となる。よって、この場合、集光器 3 0 2 の生成には非強磁性材料を用いなければならない。例えば、集光器 3 0 2 は、電気鋳造された Cu で製造され、光学面上の厚い反射コーティング（Ru 等；図示せず）や光学面上の厚い保護ガルバニックコーティング（Rh 等；図示せず）によって保護されていてもよい。

40

【 0 0 6 9 】

< ミラーの数と形状 >

再び図 1 及び図 3 を参照すると、集光器 3 0 2 の最大出口開口数（NA）は、通常照射器 1 0 6 の入口 NA によって制限される。この制限は、光源 3 0 4 と IF 間の距離の実際の制限と共に、ミラー 3 0 6 の長さの制限も決める。この制限により、各ミラー 3 0 6 は、光源 3 0 4 からの光の角度のついた部分のみを集光する場合がある。集光効率を最大化するために、光源 2 0 4 からの集光器 3 0 2 で捕らえられる最も大きい角度も最大化されなければならない。その結果、複数のミラー 3 0 6 は、典型的には最大集光角度が約 4 0

50

度から約 85 度の範囲となるように光源 304 からの所望の角度範囲をカバーするため同心に配されなければならない。本発明の第一実施形態（図 3）では、6 つの同心のミラー 306 が採用されている。しかし、好適な実施形態では、集光器 302 の同心ミラー 306 の数は 5 から 16 である。

【0070】

<ミラーコーティング>

13.5 nm の代表的な動作波長で十分な反射を実現するため、ミラー 306 の光学面は、好適には（限定されるわけではないが）Pd、Ir、Pt、Mo、Rh、更に好ましくは Ru からなる適切な材料（ここでは「反射層」と称する）によってコーティングされる。

【0071】

反射層として同質の単一層材料（主に約 500 nm を越える厚み）の他に、上記列挙したもののから一以上の EUV エLEMENT によって構成されたナノ構造層を、一以上の EUV 反射 ELEMENT を代替構造や成長パラメータにより（共）堆積させることによって得られたナノメータ周期性又はナノ複合を有するマルチレイヤの構造で使用する。これらの材料は、異なるナノ構造やインターフェース（例えば、アモルファス/アモルファス、ナノ結晶/アモルファス等）を有する二つの ELEMENT（例えば、Mo、Ru、Zr、Nb、Pd 等）のマルチレイヤを含む。生成方法の一部として、上記 ELEMENT の窒化物、水素化物、（亜）酸化物を堆積させるため（ H_2 、 O_2 及び N_2 等の）反応ガスが付加されてもよい。このようにして得られた反射層全体は圧力補償されており（つまり、圧力が全くな

い、基材に対しメカニカルに安定した光学層を得るのに適度な最終的な残余圧力）、全体の最大厚みは約数マイクロメートル（例えば、約 3 - 5 マイクロメートル）である。このような構造の層に堆積させる好適な方法は、プラズマやイオンの助け（例えば、スパッタリング、反応スパッタリング、蒸着（evaporation）等）を用いた物理的なものであるが、これらの生成方法に限定されない。反射層の材料は、堆積工程の結果としてすでにナノ合金化されていてもよいし、或いは最終的なナノ構造を実現するため前処理されていてもよい。上記反射層合成体の一つの変形例は、次の通りである。複数ではなく、皮膜密度や固有の残余圧力を変化させる成長時のイオン衝撃によって得られる、調整された電子的且つ物理的性質を有する単一 ELEMENT（例えば、Mo、Ru、Zr、Nb 又は Pd）を形成する。この圧力補償ナノ構造 EUV 層は、高い EUV 反射率を示し、最大数マイクロ

【0072】

ミラー 306 の入射光と反射面の角度は、一定の限界未満に抑える必要があり、それを越えると反射コーティングの反射率が小さい値になってしまうため、集光効率を下げてしまう。代表的なコーティング材料（Ru、Pd、Au、Ir、Pt、Mo、Rh）は、グレージング角度が約 20 から 30 度である。集光ミラーの光学設計は、好適にはグレージング角度が 30 度未満になるようにする。

【0073】

図 5 は、本発明の第二実施形態に係る斜入射集光器を示す。同実施形態は、次の点を除いて第一実施形態と同じである。この実施形態においては、レーザ光 308 はまず集光器 302 の IF とは反対側から（つまり矢印 B 方向）伝播し、燃料ターゲット（光源 304 に対応し、燃料液滴ジェネレータ 313 により生成される）に球面ミラー 314 によって反射され焦点を合わせられる。ミラー 314 は、冷却されたミラーである。結果として発光/反射された EUV 光の例は、符号 316 により示す。

【0074】

図 6 は、本発明の第三実施形態に係る斜入射集光器を示す。同実施形態は、次の点を除いて第一実施形態と同じである。同様に、レーザ光 308 はまず集光器 302 の IF とは反対側から伝播する。大径のレンズ 318、よってレーザパルスのエネルギー密度が低くなるレンズによって焦点を合わせられる。そして光 308 は、燃料ターゲット（光源 304 に対応し、燃料液滴ジェネレータ 313 により生成される）に平面ミラー 320 によ

10

20

30

40

50

って反射される。ミラー 320 は、冷却されたミラーである。結果として発光 / 反射された E U V 光の例は、符号 316 により示す。

【0075】

図 7 は、本発明の第四実施形態に係る斜入射集光器を示す。これは、次の点を除いて第一実施形態と同じである。この実施形態では、レーザ光 308 はまず、集光器 302' の光軸 322 に直交して伝播する。次いで光 308 は、(集光器 302' の I F と同じ側の光軸上に配された) 平面ミラー 324 によって 90 度屈折し、燃料ターゲット (光源 304 に対応し、燃料液滴ジェネレータ 313 により生成される) にレンズ 326 によって焦点を合わせられる。この場合、燃料の液滴を生成するのに、磁界等を生じさせるのに必要なハードウェア (図示せず) として、比較的大きいボリューム 328 が利用可能である。

10

【0076】

図 8 は、本発明の第五実施形態に係る斜入射集光器を示す。これは、次の点を除いて第一実施形態と同じである。同様に、レーザ光 308 はまず集光器 302 の I F とは反対側から伝播する。しかし、この場合、レーザ光は光源に直接入射する。光源の角度がある発光は、異方性がある場合 (図 4)、図 2 の延長でありレーザ光が集光器 302 の I F とは反対側から伝播する図 8 の構成は、実質的に効率性が下がる。これは、光源からの最大発光が集光器と反対方向に生じるためである。

【0077】

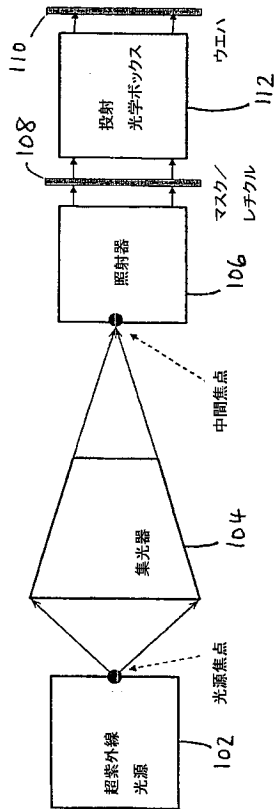
ここで説明した変形例の他にも実施形態が可能である。当然のことながら、例えば、E U V プラズマを生成するのに複数のレーザ光を用いてもよい。また当然に、レーザ光は、燃料ターゲット (光源焦点) に当たると、必ずしも光軸に沿って伝播せず、角度があってもよい。

20

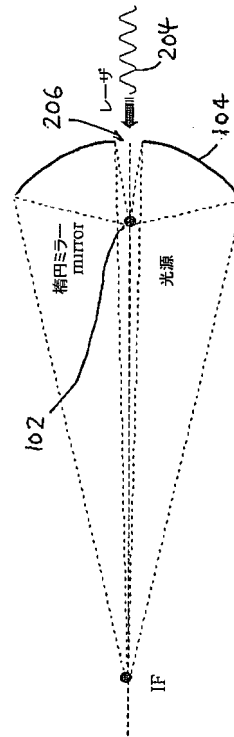
【0078】

本発明には、(例えば E U V や X 線) 撮像のための集光光学系、かかる光学系を備えた E U V リソグラフィシステム (図 1) 及び撮像システムが含まれる。かかる撮像光学系及び撮像システムの構成は、例えば欧州特許出願第 06425539.1 号において説明されている。

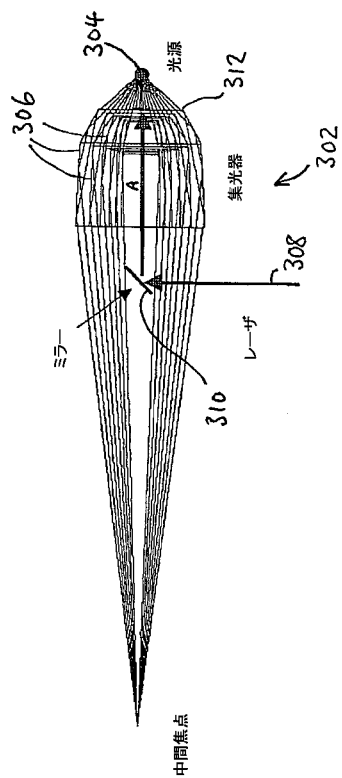
【図 1】



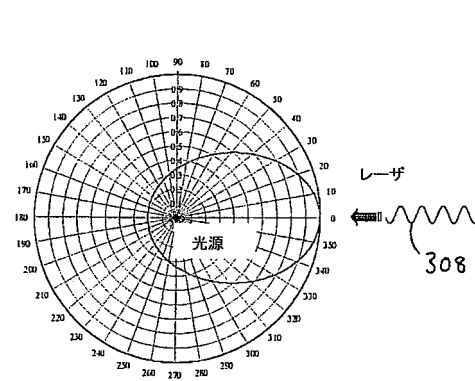
【図 2】



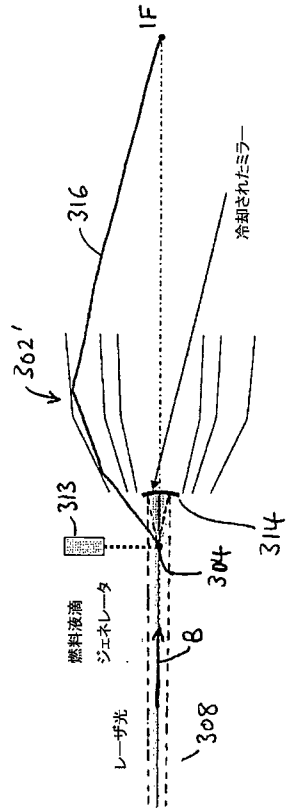
【図 3】



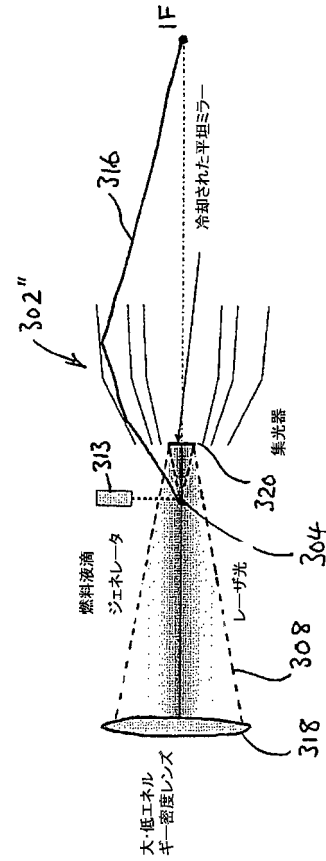
【図 4】



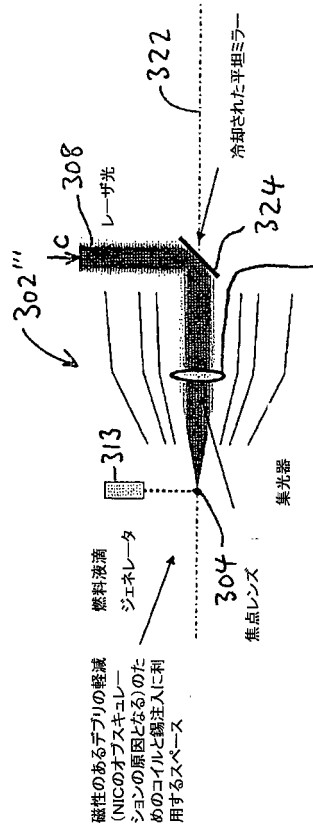
【図 5】



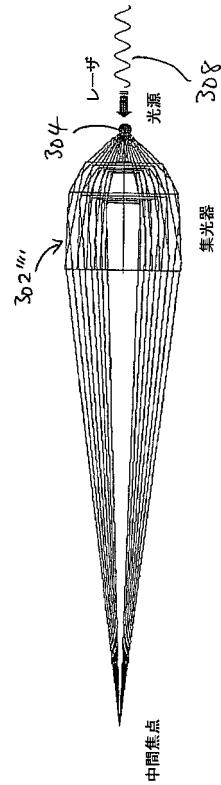
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 2 B 5/10 C

(72)発明者 ウォールヘッド, イアン
イタリア共和国, レッコ, イ - 2 3 8 4 2 ボジージオ パリーニ, ロカリタ パスコロ, メデ
ィア ラリオ ソシエタ ア レスポンサビリタ リミタータ内

(72)発明者 ツォッチ, ファビオ
イタリア共和国, レッコ, イ - 2 3 8 4 2 ボジージオ パリーニ, ロカリタ パスコロ, メデ
ィア ラリオ ソシエタ ア レスポンサビリタ リミタータ内

審査官 新井 重雄

(56)参考文献 特開2007-298980(JP, A)
特表2004-501491(JP, A)
特表2005-510752(JP, A)
特開2004-165638(JP, A)
特開2003-043196(JP, A)
特開2005-108834(JP, A)
特表2005-522026(JP, A)
特開2005-109502(JP, A)
特表2008-503078(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 1 L 2 1 / 0 2 7
G 0 2 B 5 / 1 0
G 0 3 F 7 / 2 0
H 0 5 G 2 / 0 0