

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6814216号
(P6814216)

(45) 発行日 令和3年1月13日(2021.1.13)

(24) 登録日 令和2年12月22日(2020.12.22)

(51) Int.Cl.

G03F 7/20 (2006.01)
G02B 5/08 (2006.01)

F 1

G03F 7/20 503
G03F 7/20 501
G03F 7/20 521
G02B 5/08 A

請求項の数 21 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2018-531591 (P2018-531591)
 (86) (22) 出願日 平成28年11月21日 (2016.11.21)
 (65) 公表番号 特表2019-500652 (P2019-500652A)
 (43) 公表日 平成31年1月10日 (2019.1.10)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2016/078343
 (87) 國際公開番号 WO2017/102256
 (87) 國際公開日 平成29年6月22日 (2017.6.22)
 審査請求日 令和1年11月19日 (2019.11.19)
 (31) 優先権主張番号 102015225509.3
 (32) 優先日 平成27年12月16日 (2015.12.16)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
ドイツ (DE)

(73) 特許権者 503263355
カール・ツァイス・エスエムティー・ゲーエムベーハー
ドイツ連邦共和国、73447 オーバーコッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラーセ 2
(74) 代理人 100147485
弁理士 杉村 憲司
(74) 代理人 230118913
弁護士 杉村 光嗣
(74) 代理人 100202326
弁理士 橋本 大佑
(72) 発明者 ペーター フーベル
ドイツ国 89518 ハイデンハイム
イーゲルヘッケ 19

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】反射光学素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学有効面と、
基板と、
反射層系と、

少なくとも 1 つの多孔ガス放出層であり、前記光学有効面に電磁放射線が照射される際に吸着粒子を少なくとも断続的に放出する少なくとも 1 つの多孔ガス放出層とを有し、

前記多孔ガス放出層は、前記反射層系のうち前記基板に面する側に配置される反射光学素子。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の反射光学素子において、前記多孔ガス放出層は、第 1 多孔ガス放出層及び第 2 多孔ガス放出層を有し、該第 2 多孔ガス放出層は、前記光学有効面に電磁放射線が照射される際に前記第 1 多孔ガス放出層が放出する粒子が前記第 2 多孔ガス放出層に少なくとも断続的に吸着するように設計されることを特徴とする反射光学素子。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の反射光学素子において、該反射光学素子は、少なくとも 1 つの放熱層を有し、該放熱層は、該放熱層のない類似の構造と比べて、前記光学有効面に電磁放射線が照射される際に該反射光学素子において電磁放射線により誘起される熱の放射を増加させることを特徴とする反射光学素子。

20

【請求項 4】

請求項 3 に記載の反射光学素子において、前記放熱層は、前記反射層系のうち前記光学有効面に面する側に配置されることを特徴とする反射光学素子。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の反射光学素子において、該反射光学素子はさらに、前記基板と前記反射層系との間に配置される断熱層を有することを特徴とする反射光学素子。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の反射光学素子において、前記断熱層は石英を有することを特徴とする反射光学素子。

10

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の反射光学素子において、該反射光学素子はさらに、前記基板と前記反射層系との間に配置されるペルチェ素子を有することを特徴とする反射光学素子。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の反射光学素子において、前記反射光学素子は、ミラーであることを特徴とする反射光学素子。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の反射光学素子において、前記ミラーは、マイクロリソグラフィ投影露光装置のミラー又はマスク検査装置のミラーであることを特徴とする反射光学素子。

20

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の反射光学素子において、該反射光学素子はさらに、前記基板と前記反射層系との間に配置される熱緩衝層を有することを特徴とする反射光学素子。

【請求項 11】

請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の反射光学素子において、該反射光学素子は、30 nm 未満の作動波長用に設計されることを特徴とする反射光学素子。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の反射光学素子において、該反射光学素子は、15 nm 未満の作動波長用に設計されることを特徴とする反射光学素子。

30

【請求項 13】

請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の少なくとも 1 つの反射光学素子を備えた光学系。

【請求項 14】

請求項 13 に記載の光学系において、該光学系は、マイクロリソグラフィ投影露光装置の光学系であることを特徴とする光学系。

【請求項 15】

請求項 14 に記載の光学系において、該光学系は、照明デバイス又は投影レンズであることを特徴とする光学系。

【請求項 16】

請求項 13 に記載の光学系において、該光学系は、マスク検査装置の光学系であることを特徴とする光学系。

40

【請求項 17】

請求項 16 に記載の光学系において、該光学系は、照明デバイス又は検査レンズであることを特徴とする光学系。

【請求項 18】

照明デバイス及び投影レンズを有するマイクロリソグラフィ投影露光装置において、請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の反射光学素子を有することを特徴とするマイクロリソグラフィ投影露光装置。

【請求項 19】

50

照明デバイス及び検査レンズを有するマスク検査装置において、請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の反射光学素子を有することを特徴とするマスク検査装置。

【請求項 20】

反射光学素子であつて、
光学有効面と、
基板と、
反射層系と、

少なくとも 1 つの放熱層であり、該放熱層のない類似の構造と比べて、前記光学有効面に電磁放射線が照射される際に前記反射光学素子において電磁放射線により誘起される熱の放射を増加させる少なくとも 1 つの放熱層と

を有し、

前記放熱層は、前記反射層系のうち前記光学有効面に面する側に配置され、
前記基板と前記反射層系との間に配置される断熱層を有する反射光学素子。

【請求項 21】

請求項 1 ~ 12、及び 20 のいずれか 1 項に記載の反射光学素子において、該反射光学素子は、マイクロリソグラフィ投影露光装置又はマスク検査装置の反射光学素子であることを特徴とする反射光学素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置又はマスク検査装置の反射光学素子に関する。

【0002】

本願は、2015年12月16日付けで出願された独国特許出願第10 2015 225 509.3号の優先権を主張する。当該独国出願の内容を参照により本願の本文に援用する。

【背景技術】

【0003】

マイクロリソグラフィは、例えば集積回路又はLCD等の微細構造コンポーネントの製造に用いられる。マイクロリソグラフィプロセスは、照明デバイス及び投影レンズを有するいわゆる投影露光装置で実行される。この場合、照明デバイスにより照明されたマスク(レチクル)の像を、投影レンズにより、感光層(フォトレジスト)で被覆されて投影レンズの像平面に配置された基板(例えばシリコンウェーハ)に投影することで、マスク構造を基板の感光コーティングに転写するようとする。

【0004】

マスク検査装置は、マイクロリソグラフィ投影露光装置のレチクルの検査に用いられる。

【0005】

EUV領域用に、すなわち、例えば約13nm又は約7nmの波長用に設計した投影レンズ又は検査レンズでは、適当な光透過屈折材料(light-transmissive refractive materials)が利用可能でないことにより、反射光学素子を結像プロセス用の光学コンポーネントとして用いる。

【0006】

実際に生じる 1 つの問題は、特に EUV 光源が発した放射線の吸収の結果として、EUV で動作するよう設計されたこれらの反射光学素子が加熱され、したがって関連の熱膨張又は変形を生じ、これがさらに光学系の結像特性に悪影響を及ぼし得ることである。これが当てはまるのは特に、素子の温度上昇又は変形が反射光学素子の光学有効面にわたって激しく変わる、比較的小さな照明極(illumination poles)での照明設定が用いられる場合(例えば、2重極又は4重極照明設定)である。

【0007】

10

20

30

40

50

VUVリソグラフィシステム（例えば、約200nm又は約160nmの作動波長を有する）から既知の上記素子加熱問題を克服するための解決法をEUVシステムに応用することは、特に、（必要な反射に起因して大きすぎる光損失を回避するために）光学素子又はミラーの数が比較的少ない結果として能動的な変形補償に利用可能な光学有効面の数が比較的厳しく制限される限り、幾分困難である。

【0008】

EUVシステムで上記素子加熱問題を克服するために、EUVで動作するよう設計された反射光学素子の光学有効面の領域で剛体運動及び/又は温度変化を実現するための付加的な機器の使用の実践が知られているが、これはシステムの複雑さを増大させる。

【0009】

従来技術に関しては、単なる例として特許文献1を参照されたい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】独国特許出願公開第10 2010 039 930号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明の目的は、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置又はマスク検査装置の反射光学素子であって、比較的少ない構成費（constructive outlay）で熱変形又はこれに伴う結像挙動への悪影響の効果的な回避又は少なくとも低減を促す反射光学素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

この目的は、独立特許請求項の特徴に従った反射光学素子により達成される。

【0013】

一態様によれば、本発明は、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置又はマスク検査装置の反射光学素子であって、光学有効面を有し、該光学有効面は、

基板と、

反射層系と、

光学有効面に電磁放射線が照射される際に吸着粒子を少なくとも断続的に放出する少なくとも1つの多孔ガス放出層と
を有する反射光学素子に関する。

【0014】

この態様によれば、本発明は、反射光学素子において電磁放射線により（すなわち光パルス中に）誘起された熱をある程度用いて、特にこの目的で設けられた多孔ガス放出層に吸収された粒子を放出することにより、動作中の光学有効面付近又は反射層系の領域での反射光学素子の加熱を制限するという概念を含む。結果として、表面近傍領域で反射光学素子の加熱に利用可能なエネルギーがその分小さく、すなわちその分温度上昇も少なくなる。

【0015】

単なる例として、吸着粒子は蓄積した水分子であってもよく、このとき放射線誘起熱を適宜用いて水を蒸発させる。さらに他の実施形態では、これらは蓄積した希ガス（例えば、アルゴン（Ar））もあり得る。

【0016】

上述した多孔ガス放出層を用いるという概念では、光パルスが反射光学素子に入射する合間に期間中に以前に吸収された粒子の新たな蓄積が起こるので、その際に吸収エネルギー又は熱が再度放出されることに留意すべきである。しかしながら、最後に述べた効果は、比較的かなり長い時間スケールで起こるので、例えば光パルスが反射光学素子に入射する合間にシステムの能動冷却を行うことができる。

10

20

30

40

50

【0017】

結果として、上記概念を用いることで、発生する最大ピーク温度の低減を達成すること、ひいては特に、例えば反射光学素子の比較的温度に敏感な層及び／又は反射層系の保護を達成することが可能になる。

【0018】

一実施形態によれば、このガス放出層は、反射層系のうち基板に面する側に配置される。

【0019】

一実施形態によれば、反射光学素子は、第1多孔ガス放出層及び第2多孔ガス放出層を有し、第2ガス放出層は、光学有効面に電磁放射線が照射される際に第1ガス放出層が放出する粒子が第2ガス放出層に少なくとも断続的に吸着するように設計される。

10

【0020】

一実施形態によれば、反射光学素子は、少なくとも1つの放熱層を有し、放熱層は、放熱層のない類似の構造と比べて、光学有効面に電磁放射線が照射される際に反射光学素子において電磁放射線により誘起される熱の放射を増加させる。

【0021】

さらに別の態様によれば、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置又はマスク検査装置の本発明による反射光学素子であって、光学有効面を有し、該光学有効面は、

基板と、

反射層系と、

20

少なくとも1つの放熱層であり、放熱層のない類似の構造と比べて、光学有効面に電磁放射線が照射される際に反射光学素子において電磁放射線により誘起される熱の放射を増加させる少なくとも1つの放熱層と
を有する反射光学素子。

【0022】

この態様によれば、本発明は、特に、放熱層によりできる限り効果的な赤外線（IR）の放散をもたらすことにより、動作中に入射する電磁放射線の結果としての反射光学素子の望ましくない熱に起因した変形を少なくとも低減するという概念に基づく。

【0023】

ここで特に、本発明は、例えばEUVミラーにおいて、基板又はその製造に通常用いられる基板材料が赤外線に対して少なくとも部分的に透明である結果として、放熱層を介した本発明による熱放散を基板を通して行うことができるを利用することを利用する。

30

【0024】

特に、本発明は、基板側の熱に起因した変形が、第1に（基板の厚さが反射層系と比べて数オーダ大きいことにより）反射光学素子で生じる波面効果に関して、第2に特定の基板材料（例えば、Zero d u r（登録商標）又はU L E（登録商標）等）の選択によってさえも動作中に概して完全に回避できないという理由で、特に問題となることを考慮している。最後に述べたものは、特に動作中に光学有効面で、ひいては基板断面でも動作中の最終的な温度が変わるので、そのような基板材料の熱膨張係数がその温度依存性に関してゼロ交差を有するいわゆるゼロ交差温度が正確に調整可能となり得ないということにも起因し得る。

40

【0025】

一実施形態によれば、放熱層は、反射層系のうち基板に面する側に配置される。この構成は、放熱層の設計時に、動作中に反射光学素子に入射する電磁使用放射線（例えば、EUVミラーの場合はEUV放射線）に関する放熱層の放射又は放出特性を考慮せずに、赤外線を考慮して、特に放熱層の材料及び厚さに関してその最適化を実施できるので有利である。別の言い方をすれば、電磁使用放射線又は作動波長に関する放熱層の放出特性は（ひいては吸収特性も）、放熱層が反射層系のうち基板に面する側に配置されれば無視することができる。

【0026】

50

さらに別の実施形態によれば、放熱層は、反射層系のうち光学有効面に面する側に配置される。この場合、放熱層は、動作中に反射光学素子に入射する電磁使用放射線（例えば、EUVミラーの場合はEUV放射線）の吸収ができる限り小さいように構成されることが好ましい。

【0027】

一実施形態によれば、本発明による反射光学素子はさらに、基板と反射層系との間に配置される断熱層を有する。これにより達成できるものとして、反射光学素子の動作中に誘起される熱が反射層系に実質的に残り、したがって基板まで届かない。結果として、一方では、より長い時間間隔が光学有効面からの赤外線による熱放散に利用可能であり、他方では、反射層系での温度上昇によりこの赤外線が支援される。

10

【0028】

この構成は、反射光学素子で生じる波面効果の点から見て、反射層系への熱流入が基板への熱流入ほど問題にならないというさらなる考えに基づく（基板では、基板の絶対厚さが反射光学系と比べて数オーダ大きいことにより、熱に起因した相対膨張が波面効果にはるかに重大な影響を及ぼす）。

【0029】

一実施形態によれば、反射光学素子はさらに、基板と反射層系との間に配置される少なくとも1つのペルチェ素子を有する。

【0030】

この実施形態は、例えば基板の温度が上昇しそうな場合に、電流を印加することができるペルチェ素子を必要に応じて動作中に基板と反射層系との間で用いることにより、基板の能動冷却を（特に、制御可能な冷却も）達成するというさらなる概念に基づくが、この場合、ペルチェ素子の機能原理に対応して反射層系に面する側で温度上昇がある。そしてまた、これは、既述したような反射層系への熱流入が（上記反射層系の厚さが基板と比較して数オーダ小さいことにより）基板への熱流入よりも通常は問題とならないという考えに基づく。

20

【0031】

本発明はさらに、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置又はマスク検査装置の反射光学素子であって、光学有効面を有し、該光学有効面は、

基板と、

30

反射層系と、

基板と反射層系との間に配置されるペルチェ素子と
を有する反射光学素子に関する。

【0032】

一実施形態によれば、本発明による反射光学素子はさらに、基板と反射層系との間に配置される熱緩衝層を有する。

【0033】

これにより達成できるものとして、反射光学素子への光パルスの入射中に反射光学素子に導入される熱が、反射層系から熱緩衝層890へ比較的迅速に伝達されるので、反射層系側で高すぎる温度上昇が回避され、該当する場合は温度に敏感な層及び/又は層系を保護することができる。熱は、光パルスの合間の期間に熱緩衝層から基板へ伝達され得る。

40

【0034】

一実施形態によれば、反射光学素子は、30nm未満、特に15nm未満の作動波長用に設計される。しかしながら、本発明はこれに限定されず、VUV領域の（例えば200nm未満又は160nm未満の）作動波長を有する光学系でのさらなる用途で有利に実現することもできる。

【0035】

本発明による反射光学素子は、ミラー、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置又はマスク検査装置のミラーであり得る。さらに、本発明による反射光学素子は、マイクロリソ

50

グラフィ投影露光装置のレチクルでもあり得る。

【0036】

本発明はさらに、マイクロリソグラフィ投影露光装置の光学系、特に照明デバイス又は投影レンズ、マスク検査装置の光学系、及び上記特徴を備えた少なくとも1つの反射光学素子を有するマイクロリソグラフィ投影露光装置及びマスク検査装置にも関する。

【0037】

本発明のさらに他の構成は、説明及び従属請求項から得ることができる。

【0038】

添付図面に示す例示的な実施形態に基づいて、本発明を以下でより詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

10

【0039】

【図1】本発明の第1実施形態による反射光学素子の構成を説明する概略図を示す。

【図2】本発明のさらに別の実施形態による反射光学素子の構成を説明する概略図を示す。

【図3】本発明のさらに別の実施形態による反射光学素子の構成を説明する概略図を示す。

【図4】本発明のさらに別の実施形態による反射光学素子の構成を説明する概略図を示す。

【図5】本発明のさらに別の実施形態による反射光学素子の構成を説明する概略図を示す。

【図6】本発明のさらに別の実施形態による反射光学素子の動作モードを説明するグラフを示す。

【図7】本発明のさらに別の実施形態による反射光学素子の構成を説明する概略図を示す。

【図8】本発明のさらに別の実施形態による反射光学素子の構成を説明する概略図を示す。

【図9】EUVで動作するよう設計されたマイクロリソグラフィ投影露光装置の可能な構成を説明する概略図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0040】

30

図1は、本発明の第1実施形態における本発明による反射光学素子の構成を説明する概略図を示す。

【0041】

反射光学素子100は、特に、任意の所望の適当な(ミラー)基板材料でできた基板105を備える。適当な基板材料は、例えば二酸化チタン(TiO₂)でドープした石英ガラスであり、単なる例として(また本発明をそれに限定することなく)、使用可能な材料はULE(登録商標)(Corning Inc.製)又はZero durr(登録商標)(Schott AG製)の商品名で販売されているものである。

【0042】

さらに、反射光学素子100は、原理上はそれ自体が既知の方法で、図示の実施形態では単なる例としてモリブデン・ケイ素(Mo-Si)積層体を含む反射層系110を有する。本発明はこの積層体の特定の構成に限定されないが、単に例示的な適当な一構成は、それぞれ2.7nmの層厚を有するモリブデン(Mo)層及びそれぞれ3.3nmの層厚を有するケイ素(Si)層を含む層系を約50プライ又は50層パケット備え得る。場合によっては、さらに他の機能層、例えばキャッピング層(「キャップ層」)、基板保護層(SPL=「基板保護層」)、及び/又は拡散バリア等を設けることができる。

【0043】

特に、反射光学素子100は、光学系の、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置の投影レンズ若しくは照明デバイスの、又はマスク検査装置の検査レンズの、反射光学素子又はミラーであり得る。さらに、光学素子又は光学系は、特にEUVで動作するよう設計さ

40

50

れ得る。

【0044】

反射光学素子の光学有効面 100a に光学系の動作中に生じる電磁 EUV 放射線（図 1 に矢印で示す）が当たる結果として、反射層系 110 及び基板 105 の両方の体積が増加し、この体積増加は、入射電磁放射線の強度分布に応じて（したがって、特に、瞳近傍反射光学素子の場合に設定された照明設定に応じて）光学有効面 100a に不均一に広がり得る。

【0045】

このとき、電磁放射線での光学有効面 100a の上記照射により起こる反射光学素子 100 全体の変形、特に光学有効面 100a の変形と、反射光学素子 100 の動作中に結果としてこれに伴う波面効果とを少なくともある程度低減するために、反射光学素子 100 は、図 1 によれば反射層系 110 のうち光学有効面 100a に面しない側に位置する放熱層 120 を有する。

【0046】

この放熱層 120 は、放熱層 120 により基板 105 を通して熱放散が起こるように赤外線（IR）に関して比較的高い放射率を特徴とする。この熱放散により、対応して放散された放射線誘起熱が、特に基板 105 又は光学有効面 100a の熱に起因した変形をもたらすことができなくなるので、全体的にこのような変形が回避又は少なくとも低減される。

【0047】

図 2 は、さらに別の実施形態を示し、図 1 と類似又は実質的に機能的に同一のコンポーネントは「100」を足した参照符号で示す。図 2 の実施形態が図 1 からのものと異なるのは、放熱層 220 が反射層系 210 のうち光学有効面 200a に面する側に配置される点である。好ましくは、放熱層 220 のこの実施形態での構成は、放散される赤外線に関してはできる限り高い放射率を有するが、動作中に反射光学素子 200 に入射する電磁放射線又は EUV 放射線に関しては低い放射率（これは低吸収力と同義なので）しかないようなものである。

【0048】

放熱層 220 及び / 又は 120 の適当な材料は、例えば、酸化ニオブ（NbO）、窒化ケイ素（SiN）、酸化ジルコニウム（ZrO）又は非晶質炭素（C）である。

【0049】

これらの実施形態では、放熱層 220 及び / 又は 120 は、上記材料の 1 つ又は複数での（例えば、ケイ素（Si）又はモリブデン（Mo）層の）ドーピング（例えば、10% 炭素原子でのドーピング）も有し得る。この結果として、所望に応じて、赤外線の放射率を大幅に高めつつ、使用光を形成する EUV 放射線に関する反射層系の放出特性に対する影響は比較的無視できる程度にすることが可能である。

【0050】

放熱層 220 及び / 又は 120 の典型的な厚さは、材料に応じて例えば 5 nm ~ 100 nm の範囲とすることができる、原理上は、図 1 で実現されているように反射層系 110 のうち基板 105 に面する側に放熱層 120 を配置すると、比較的大きな層厚を得やすく、また（この場合は無関係である EUV 放射線に関する放射又は放出特性を考慮する必要がないので）材料選択に関する融通性も高まる。

【0051】

図 3 は、本発明による反射光学素子 300 のさらに別の実施形態を示し、図 2 と類似又は実質的に機能的に同一のコンポーネントは「100」を足した参照符号で示す。

【0052】

図 3 の実施形態が図 2 のものと異なるのは、図 3 によれば、付加的な断熱層 330 が反射層系 310 と基板 305 との間に配置される点である。これにより、反射層系 310 に放射線誘起熱がより長く滞留する結果として、放熱層 320 での赤外線による熱放射に利用可能な時間間隔が長くなる。

10

20

30

40

50

【0053】

断熱層330に適した材料は非晶質石英ガラス(SiO₂)であり、その層厚は、反射層系310のうち光学有効面300aに面しない側に配置することを考慮して、比較的重要ではなく、単なる例として数十nm～数百nm程度とすることができる。

【0054】

図4は、本発明による反射光学素子400のさらに別の実施形態を示し、図3と類似又は実質的に機能的に同一のコンポーネントは「100」を足した参照符号で示す。

【0055】

上述した実施形態とは対照的に、図4に示す反射光学素子400は、例示的な実施形態では反射層系410と基板405との間に配置された多孔ガス放出層440を有する。多孔ガス放出層440の厚さは、単なる例として1μm～10μmの範囲にあり得る。10

【0056】

ガス放出層440は、粒子又は分子(例えば、水又はアルゴン(Ar)等の希ガス)を一時的に蓄える役割を果たす。光パルスが光学有効面400aに入射する際に反射光学素子400に導入された熱を用いてこれらの蓄積又は吸収された粒子を放出する結果として、反射光学素子400の表面近傍領域で(すなわち、光学有効面400aの付近で)利用可能なエネルギーはその分小さく、したがって、特に反射層系410の温度上昇もガス放出層440のない類似の構成と比べて小さくなることが分かる。

【0057】

以前に脱着した粒子は、連続する光パルスの合間に吸収エネルギーを放出しながらガス放出層440に再度蓄積されるが、発生する最大ピーク温度の低減と、したがって特に温度に敏感な反射層系410の保護とを得ることができる。ガス放出層400がある場合(曲線「A」)及びない場合(曲線「B」)の表面近傍領域の温度Tの上昇の時間依存性に関する2つの典型的な曲線の比較に基づき、これを図6に示す。20

【0058】

例示的な実施形態では反射光学素子400がさらに欠損部460を有し、当該欠損部が放出又は脱着粒子が出るのを容易にすることが、図4からさらに明らかである。このような欠損部460は、任意の適当な方法で、例えばカーボンナノチューブの形態で、適当なエッティング法等により設けることができる。

【0059】

図5は、本発明による反射光学素子500のさらに別の実施形態を示し、図4と類似又は実質的に機能的に同一のコンポーネントは「100」を足した参照符号で示す。30

【0060】

図5の実施形態が図4からのものと異なるのは、ガス放出層550に加えてその基板505に面する側に追加のガス放出層570が設けられる点である。該当する場合はこの実施形態では図4の反射光学素子400にある欠損部460を省くことができるよう、上述のようにガス放出層550から追い出された粒子は、この追加のガス放出層570で緩衝され得る。

【0061】

吸収エネルギーの放出と共に起こる熱を対応して放散させるために、図4及び図5の実施形態ではいずれの場合も連続する光パルスの合間に能動冷却があり得る。40

【0062】

図7は、本発明による反射光学素子700のさらに別の実施形態を示し、図4と類似又は実質的に機能的に同一のコンポーネントは「100」を足した参照符号で示す。この実施形態では、基板705と反射層系710との間にペルチェ素子780が配置され、これはペルチェ層781、782から構成されて電極(図示せず)により電流を印加可能である。

【0063】

このように、反射光学素子の特定の構成に応じて、反射層系への熱流入が基板への熱流入と比べて比較的問題とならないという、既に最初に述べた状況を再度利用して、反射層50

系 710 の加熱を犠牲にして基板 705 の冷却を得ることができる。

【 0064 】

上述のペルチェ素子 780 の使用は、特に、例えば図 2 又は図 3 に示す放熱層 220 及び / 又は 320 の存在と有利に組み合わせることもできるが、それはペルチェ素子 780 により反射層系 210 及び / 又は 310 に付加的に導入された熱をこのようにして効果的に放散させることができるからである。

【 0065 】

図 8 は、本発明による反射光学素子 800 のさらに別の実施形態を示し、図 7 と類似又は実質的に機能的に同一のコンポーネントは「100」を足した参照符号で示す。

【 0066 】

図 8 によれば、本発明による反射光学素子 800 は、反射層系 810 と基板 805 との間に配置することができて比較的高い熱容量を有する熱緩衝層 890 を有する。これにより達成できるものとして、反射光学素子 800 への光パルスの入射中に反射光学素子 800 に導入される熱が、反射層系 810 から熱緩衝層 890 へ比較的迅速に伝達されるので、反射層系 810 側で著しい温度上昇を回避することができる（また、例えば同じく図 4 ~ 図 6 と同様に、該当する場合は温度に敏感な層及び / 又は層系を保護することが可能である）。この構成により、典型的な基板材料が概して比較的低い熱伝導率を有するので、それにより反射層系内で起こる蓄熱が、温度に敏感な層の場合には層構成の損傷に繋がり得るという状況を考慮することが可能である。

【 0067 】

熱は、光パルスの合間の時間間隔で熱緩衝層 890 から基板 805 へ伝達され得る。上述の熱緩衝層 890 による熱放散の結果として、反射層系 810 の領域で起こるピーク温度の低減を達成することが可能である。例として、熱緩衝層 890 は、動作温度で相転移を示す材料を有することができ、ここで生じる相変態により、この場合に熱の特に効率的な緩衝を得ることができる。

【 0068 】

上述の実施形態は、いずれの場合も（例えば、モリブデン（Mo）及びケイ素（Si）からなる）多層系又は積層体の形態の反射層系を有するミラーを示すが、本発明はそれに限定されない。さらに他の実施形態では、反射層系は、斜入射で動作するよう設計されたミラー（GIミラーとも称する； GI = 「斜入射」）の個別層、例えばルテニウム（Ru）層でもあり得る。

【 0069 】

図 9 は、EUV で動作するよう設計され本発明を実現できる例示的な投影露光装置の概略図を示す。図 9 によれば、EUV 用に設計された投影露光装置 900 の照明デバイスが、視野ファセットミラー 903 及び瞳ファセットミラー 904 を備える。プラズマ光源 901 及びコレクタミラー 902 を備えた光源ユニットからの光は、視野ファセットミラー 903 へ指向される。第 1 望遠鏡ミラー 905 及び第 2 望遠鏡ミラー 906 が、瞳ファセットミラー 904 の下流の光路に配置される。偏向ミラー 907 が、光路の下流に配置され、上記偏向ミラーは、入射した放射線を 6 個のミラー 951 ~ 956 を備えた投影レンズの物体平面の物体視野へ指向させる。物体視野の場所で、反射構造持マスク 921 がマスクステージ 920 に配置され、上記マスクは、投影レンズを用いて像平面に結像され、像平面では、感光層（フォトレジスト）で被覆された基板 961 がウェーハステージ 960 上に位置する。

【 0070 】

投影レンズのミラー 951 ~ 956 のうち、本発明に従った方法で設計され得るのは、特に光ビーム経路に関して投影レンズの開始区域に配置されたミラー 951 及び 952 であるが、それは、依然として比較低い総反射損失（summed reflection losses）及びひいては比較的高い光強度に基づいて、本発明により得られる効果が結果として上記ミラー 951、952 において特に顕著だからである。しかしながら、本発明は、これらのミラー 951、952 への適用に限定されず、したがって原理上は他のミラーも本発明に従った

10

20

30

40

50

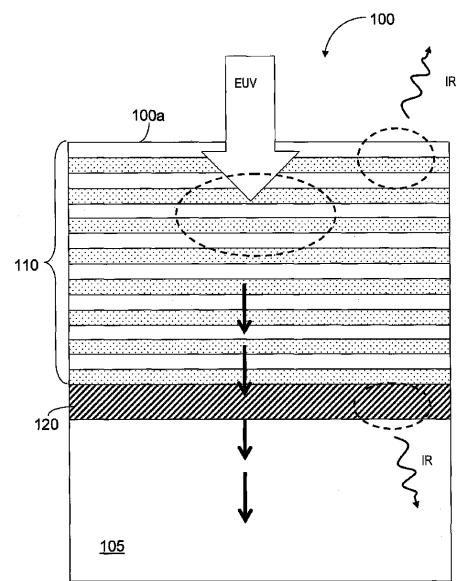
方法で設計することができる。

【0071】

本発明を特定の実施形態に基づいて説明してきたが、例えば個々の実施形態の特徴の組み合わせ及び／又は交換により多数の変形形態及び代替的な実施形態が当業者には明らかである。したがって、当業者には言うまでもなく、かかる変形形態及び代替的な実施形態は本発明により付随的に包含され、本発明の範囲は、添付の特許請求項及びその等価物の意味の範囲内でのみ制限される。

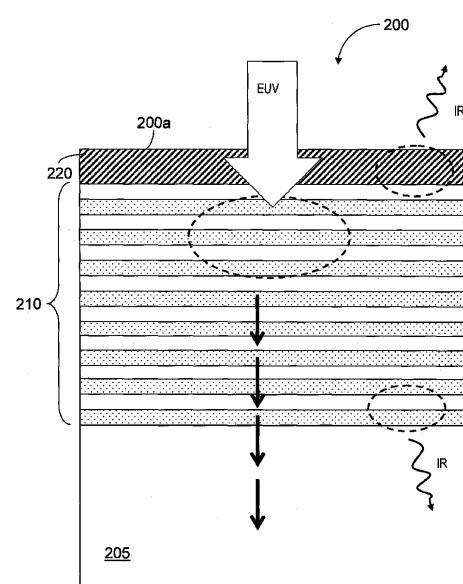
【図1】

Fig. 1

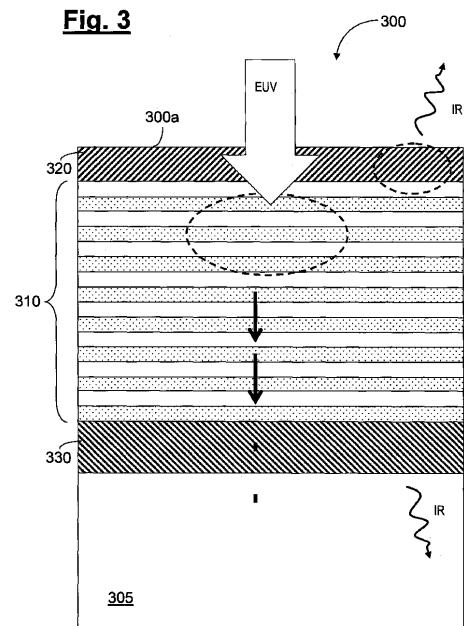


【図2】

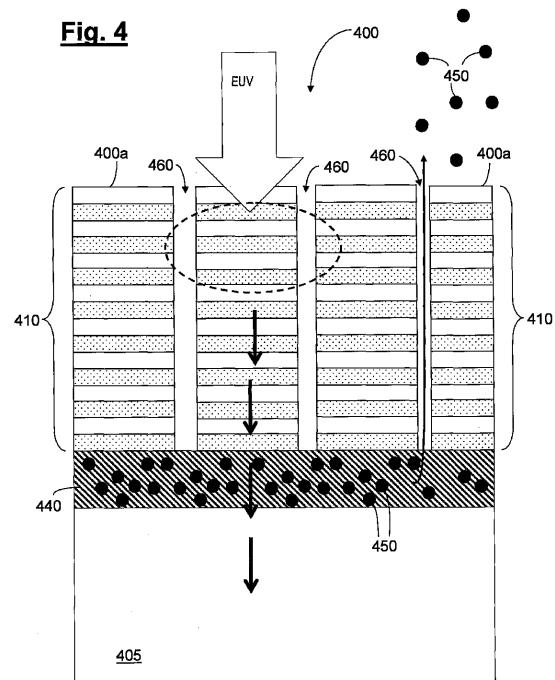
Fig. 2



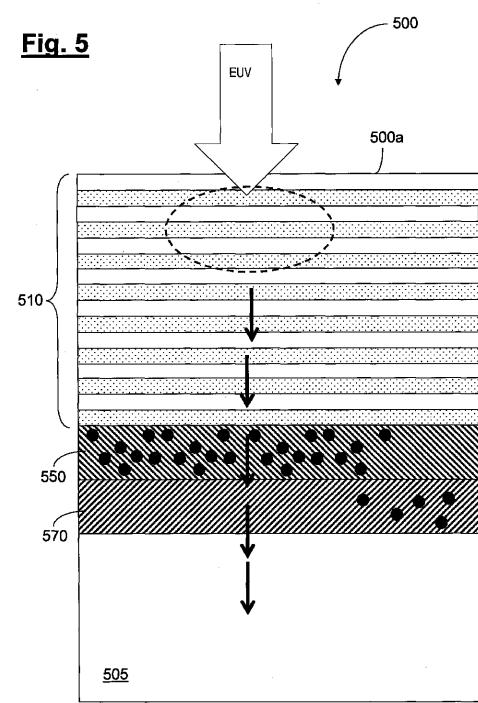
【図3】



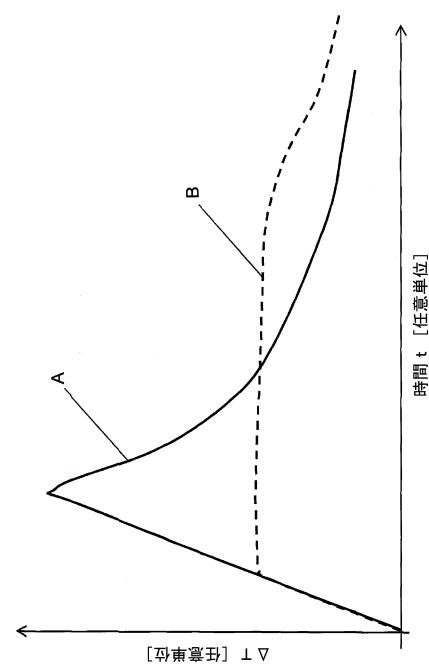
【図4】



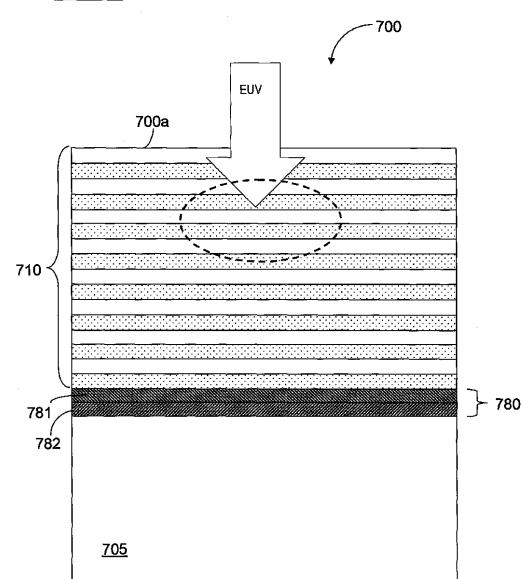
【図5】



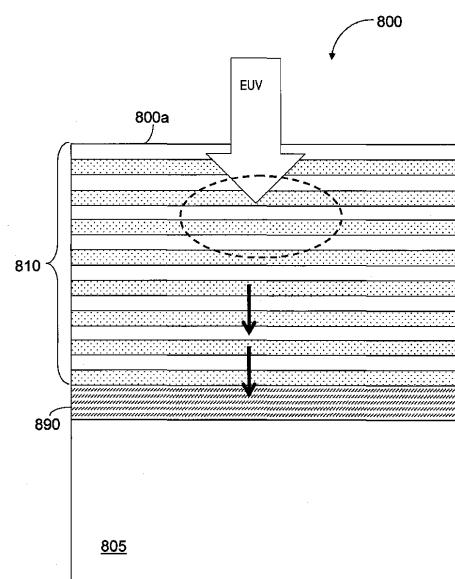
【図6】



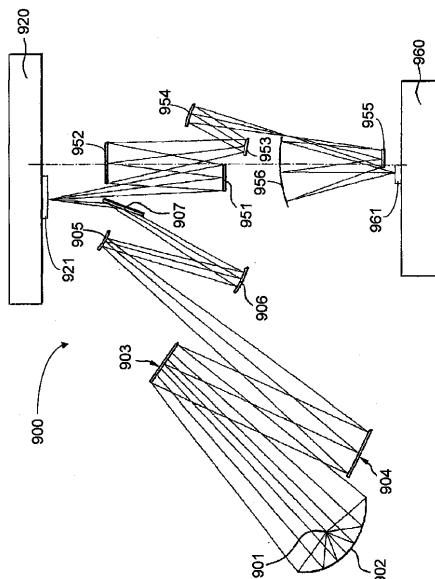
【図7】

Fig. 7

【図8】

Fig. 8

【図9】

Fig. 9

フロントページの続き

審査官 今井 彰

(56)参考文献 特表2011-530184 (JP, A)
特開2011-222958 (JP, A)
特開2010-245541 (JP, A)
米国特許出願公開第2004/0009410 (US, A1)
国際公開第2009/152959 (WO, A1)
国際公開第2014/139694 (WO, A1)
国際公開第2015/132198 (WO, A1)
国際公開第2015/155061 (WO, A1)
米国特許出願公開第2015/0219874 (US, A1)
特開2005-129936 (JP, A)
米国特許出願公開第2006/0216912 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027, 21/30
G03F 7/20 - 7/24, 9/00 - 9/02
G02B 1/10 - 1/18, 5/00 - 5/136