

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6550066号  
(P6550066)

(45) 発行日 令和1年7月24日(2019.7.24)

(24) 登録日 令和1年7月5日(2019.7.5)

(51) Int.Cl.

F I

G 0 3 F 7/20 (2006.01)

G 0 3 F 7/20 5 0 3

G 0 2 B 5/08 (2006.01)

G 0 3 F 7/20 5 2 1

G 2 1 K 1/06 (2006.01)

G 0 3 F 7/20 5 0 2

G 0 2 B 5/08 C

G 2 1 K 1/06 D

請求項の数 26 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2016-549378 (P2016-549378)  
 (86) (22) 出願日 平成27年1月29日(2015.1.29)  
 (65) 公表番号 特表2017-506363 (P2017-506363A)  
 (43) 公表日 平成29年3月2日(2017.3.2)  
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2015/051791  
 (87) 国際公開番号 W02015/114043  
 (87) 国際公開日 平成27年8月6日(2015.8.6)  
 審査請求日 平成30年1月25日(2018.1.25)  
 (31) 優先権主張番号 102014201622.3  
 (32) 優先日 平成26年1月30日(2014.1.30)  
 (33) 優先権主張国 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  
 エムペーハー  
 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 100186015  
 弁理士 小松 靖之  
 (74) 代理人 100147692  
 弁理士 下地 健一  
 (72) 発明者 ハルトムット エンキッシュ  
 ドイツ国 73431 アーレン フィヒ  
 テシュトラーセ 63

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ミラー素子を製造する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ミラー素子を製造する方法であって、

a) 基板(101、102、103、104、201、202、301、302、401、402、501、502、801、901、951、961)を用意するステップと、  
 b) 少なくとも1つの反射層系を有する層スタック(111、112、113、114、211、212、311、312、411、412、511、512)を前記基板上に形成するステップと  
 を含み、c) 前記層スタック(111、112、113、114、211、212、311、312、411、412、511、512)を、所定の動作温度に望ましい前記ミラー素子の設定値曲率を前記層スタックが及ぼす曲げ力によって発生させるように形成し、前記基板は、前記層スタックの形成前には前記ミラー素子の前記設定値曲率から外れた曲率を有し、前記層スタックが及ぼす前記曲げ力は、前記層スタックの層張力を変えるための後処理を実行することによって少なくとも部分的に発生し、前記曲げ力は、前記曲率の不可逆的变化をもたらすことを特徴とする方法。

【請求項 2】

請求項1に記載の方法において、前記後処理は熱後処理を含むことを特徴とする方法。

【請求項 3】

請求項1又は2のいずれか1項に記載の方法において、前記後処理は、イオン照射又は電子照射を含むことを特徴とする方法。

**【請求項 4】**

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記後処理を、前記層スタックの 1 つ又は複数の部分に局所的に制限することを特徴とする方法。

**【請求項 5】**

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記基板 ( 1 0 1、1 0 2、1 0 3、1 0 4、2 0 1、2 0 2、3 0 1、3 0 2、4 0 1、4 0 2、5 0 1、5 0 2、8 0 1、9 0 1、9 5 1、9 6 1 ) は、前記層スタック ( 1 1 1、1 1 2、1 1 3、1 1 4、2 1 1、2 1 2、3 1 1、3 1 2、4 1 1、4 1 2、5 1 1、5 1 2 ) の形成前に平面であるか又は凸曲率を有することを特徴とする方法。

**【請求項 6】**

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記基板は、前記層スタックの形成後に前記所定の動作温度に望ましい前記ミラー素子の前記設定値曲率が得られるように選択された局所的に変化する剛性を有することを特徴とする方法。

**【請求項 7】**

ミラー素子を製造する方法であって、

基板 ( 1 0 1、1 0 2、1 0 3、1 0 4、2 0 1、2 0 2、3 0 1、3 0 2、4 0 1、4 0 2、5 0 1、5 0 2、8 0 1、9 0 1、9 5 1、9 6 1 ) を用意するステップと、  
少なくとも 1 つの反射層系を有する層スタック ( 1 1 1、1 1 2、1 1 3、1 1 4、2 1 1、2 1 2、3 1 1、3 1 2、4 1 1、4 1 2、5 1 1、5 1 2 ) を前記基板上に形成するステップと

を含み、前記層スタックの形成前に剛性に影響を及ぼす加工を前記基板に施し、前記加工時に、前記層スタックの形成後に所定の動作温度に望ましい前記ミラー素子の設定値曲率が得られるように剛性を設定し、

前記剛性は、化学構造、位相又は結晶方位の狙い通りの変化によって少なくとも部分的に生じることを特徴とする方法。

**【請求項 8】**

請求項 7 に記載の方法において、前記層スタックが及ぼす曲げ力と組み合わせて前記ミラー素子の所望の表面形状をもたらす、前記基板の局所的に変化する剛性を設定することを特徴とする方法。

**【請求項 9】**

請求項 6 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記剛性は、前記基板の変動厚さプロファイルによって少なくともある程度は生じることを特徴とする方法。

**【請求項 10】**

請求項 6 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記基板は第 1 材料から製造され、前記剛性は、前記第 1 材料とは異なる第 2 材料の異種原子でドーピングすることによって少なくともある程度は生じることを特徴とする方法。

**【請求項 11】**

請求項 6 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記剛性は、該剛性に影響を及ぼす構造又は層によって少なくともある程度は生じることを特徴とする方法。

**【請求項 12】**

請求項 11 に記載の方法において、前記構造又は層を前記基板のうち層スタックとは反対側に配置することを特徴とする方法。

**【請求項 13】**

請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記層スタック ( 1 1 1、1 1 2、1 1 3、1 1 4、2 1 1、2 1 2、3 1 1、3 1 2、4 1 1、4 1 2、5 1 1、5 1 2 ) は、前記反射層系と前記基板 ( 1 0 1、1 0 2、1 0 3、1 0 4、2 0 1、2 0 2、3 0 1、3 0 2、4 0 1、4 0 2、5 0 1、5 0 2、8 0 1、9 0 1、9 5 1、9 6 1 ) との間に追加の張力誘起層を有することを特徴とする方法。

**【請求項 14】**

請求項 1 ~ 13 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記ミラー素子の所望の設定値

10

20

30

40

50

曲率は、少なくとも 100 の動作温度で凹曲率であることを特徴とする方法。

【請求項 15】

請求項 1 ~ 14 のいずれか 1 項に記載の方法において、複数のミラー素子をそれぞれ製造し、前記ミラー素子の少なくとも 2 つは、前記設定値曲率に関して相互に異なることを特徴とする方法。

【請求項 16】

請求項 15 に記載の方法において、前記相互に異なる設定値曲率を有するミラー素子の製造を、各前記層スタックが及ぼす同じ曲げ力を設定して、前記層スタックをそれぞれ異なる厚さを有する基板に施すことによって実行することを特徴とする方法。

【請求項 17】

請求項 15 に記載の方法において、前記相互に異なる設定値曲率を有するミラー素子の製造を、各前記層スタックが及ぼす異なる曲げ力を設定して、前記層スタックをそれぞれ異なる厚さを有する基板に施すことによって実行することを特徴とする方法。

【請求項 18】

請求項 1 ~ 17 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記ミラー素子は、複数のミラー素子からなるミラー構成体のミラー素子であることを特徴とする方法。

【請求項 19】

請求項 18 に記載の方法において、前記ミラー素子は、相互に独立して傾斜可能であることを特徴とする方法。

【請求項 20】

請求項 18 又は 19 に記載の方法において、前記ミラー構成体は、ファセットミラーであることを特徴とする方法。

【請求項 21】

請求項 1 ~ 20 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記ミラー素子を、30 nm 未満の作動波長用に設計することを特徴とする方法。

【請求項 22】

請求項 1 ~ 21 のいずれか 1 項に記載の方法において、前記ミラー素子は、マイクロリソグラフィ投影露光装置のミラー素子であることを特徴とする方法。

【請求項 23】

請求項 22 に記載の方法において、前記マイクロリソグラフィ投影露光装置の動作時に、関連ミラー素子の温度を設定することによって曲率を補正することを特徴とする方法。

【請求項 24】

請求項 1 ~ 23 のいずれか 1 項に記載の方法を使用するマイクロリソグラフィ投影露光装置用のミラー素子の製造方法。

【請求項 25】

マイクロリソグラフィ投影露光装置の光学系の製造方法であって、該光学系は、少なくとも 1 つのミラー素子を備え、該ミラー素子は、請求項 1 ~ 23 のいずれか 1 項に記載の方法により製造される、方法。

【請求項 26】

照明デバイス及び投影系を備えたマイクロリソグラフィ投影露光装置の製造方法であって、前記照明デバイス及び投影系は、少なくとも 1 つのミラー素子を備え、該ミラー素子は、請求項 1 ~ 23 のいずれか 1 項に記載の方法により製造される、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、2014 年 1 月 30 日付けで出願された独国特許出願第 10 2014 201 622 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。

【0002】

本発明は、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置用のミラー素子を製造する方法に関

10

20

30

40

50

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）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にする。

【0004】

EUV領域、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では、適当な光透過屈折材料（light-transmissive refractive materials）がないことにより、ミラーを結像プロセス用の光学コンポーネントとして用いる。

【0005】

EUV領域で動作するように設計されたマイクロリソグラフィ投影露光装置の照明デバイスにおいて、視野ファセットミラー及び瞳ファセットミラーの形態のファセットミラーを集束コンポーネントとして特に用いることが、例えば特許文献1から知られている。このようなファセットミラーは、調整のため又は特定の照明角分布を実現するためにフレクシャベアリングによって傾斜可能であるようそれぞれ設計することができる複数の個別ミラー又はミラーファセットから構成することができる。これらのミラーファセットは、さら

【0006】

さらに、VUV領域の波長で動作するように設計されたマイクロリソグラフィ投影露光装置の照明デバイスに複数の相互に独立して調整可能なミラー素子を備えたミラー構成体を、規定の照明設定（すなわち、照明デバイスの瞳平面内の強度分布）を調整するために用いることも、例えば特許文献2から知られている。

【0007】

実際に生じる問題として、このようなミラー構成体、例えばEUVで動作するように設計された照明デバイスの視野ファセットミラーの製造時、機械的張力が積層プロセス中に（すなわち、反射層系を含む層スタックをミラー基板に施す際に）生じ、この機械的張力が、基板の変形及びそれに伴う光学結像特性の低下を招き得る。この問題を克服するために、各ミラー素子内の全体的な機械的張力を最小化するようにこの機械的張力を補償する追加層を形成することが知られている。

【0008】

さらに、実際には、ミラー素子の製造時にミラー素子の各屈折力をできる限り正確に調整する必要がある（これは、平面ミラー素子に対応する屈折力ゼロ、又は用途に応じてゼロ以外の屈折力であり得る）。ミラー素子の製造時、この目的で知られている手法は、早くも層スタックを施す前にミラー素子の形状に関するその所望の「最終用途」、例えば球面の形成、微補正等に従って、特に反射層系でコーティングされた基板を設計すること、及び例えば上記張力補償を用いてコーティングプロセス（すなわち、反射層系を含む層スタックの塗布）をその後実行することからなり、基板の形態がコーティング中に変わらなくなるようにする。

【0009】

従来技術に関して、特許文献3、特許文献4、特許文献5、特許文献6、特許文献7、特許文献8、特許文献9、特許文献10、及び特許文献11を単に例として参照する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】独国特許第10 2008 009 600号明細書

【特許文献2】国際公開第2005/026843号

10

20

30

40

50

【特許文献3】国際公開第2004/029692号

【特許文献4】独国特許出願公開第10 2009 033 511号明細書

【特許文献5】独国特許出願公開第10 2008 042 212号明細書

【特許文献6】米国特許第6,011,646号明細書

【特許文献7】米国特許出願公開第2008/0166534号明細書

【特許文献8】米国特許第7,056,627号明細書

【特許文献9】国際公開第2013/077430号

【特許文献10】独国特許出願公開第10 2005 044 716号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0011】

本発明の目的は、できる限り少ない製造費用で所望の屈折力の発生を可能にする、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置用のミラー素子を製造する方法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方法によって達成される。

【0013】

特にマイクロリソグラフィ投影露光装置用のミラー素子を製造する方法に従った方法は、

20

基板を用意するステップと、

少なくとも1つの反射層系を有する層スタックを基板上に形成するステップとを含み、層スタックを、所定の動作温度に望ましいミラー素子の設定値曲率を層スタックが及ぼす曲げ力によって発生させるように形成し、基板は、層スタックの形成前にはミラー素子の上記設定値曲率から外れた曲率を有し、層スタックが及ぼす曲げ力は、層スタックの層張力を変えるための後処理を実行することによって少なくとも部分的に発生する。

【0014】

特に、本発明は、ミラー素子の製造時、反射層系を含む層スタックを基板に施す際に発生する機械的張力を、例えばこの機械的張力に逆らって働く追加の補償層（又はこの機械的張力に逆らって働く補償層系）によって除去するという概念ではなく、ミラー素子の所望の設定値曲率を、したがってミラー素子の所望の有限屈折力を発生させるために、反射層系を含む層スタックを基板に施す際に発生する機械的張力と、その結果として層スタックが基板に及ぼす曲げ力とを狙い通りに用いるという概念に基づく。ここで、基板は、層スタックの形成前にミラー素子の所望の設定値曲率から外れた曲率を有する。

30

【0015】

本発明は、特に、ミラー素子を製造する目的でミラー素子の所望の「最終仕様」に従って適当な加工ステップによって（例えば、球面の形成、微補正等によって）基板を最初に設計し、その後、反射層系を含む層スタックを施す際に、すでに狙い通りに事前決定されている関連のミラー基板形態が張力補償層（単数又は複数）によって維持されることを確実にするよう留意するという、従来手法からの意図的な逸脱を含む。

40

【0016】

むしろ、本発明は、ミラー素子の製造時に、反射層系を含む層スタックを施す前の、完成ミラー素子に最終的に望ましい曲率にまだ対応していない基板の形態又は形状から始めることにより、反射層系を含む層スタックを施す際に発生する機械的張力を意図的に用いて基板を変形させるという概念を含む。したがって、最終的に生じる基板の曲率半径、ひいては完成ミラー素子の屈折力は、基板の（厚さを含む）元の形態又は形状及び反射層系を含む層スタックを施す際に調整されるパラメータの結果として（以下で説明する後処理をおそらくはさらに用いて）得られる。

【0017】

一実施形態によれば、層スタックが及ぼす曲げ力が、特に層スタックの層張力を変える

50

ための後処理が、曲率の不可逆的变化をもたらす。

【0018】

層スタックの層張力を変えるための後処理は、特に、例えば熱照射、レーザ照射、又は焼きなましによる熱後処理を含むことができる（後処理は、光学系又は投影露光装置の動作前にも、すなわち関連ミラー素子の製造時にも実行される）。さらに、代替的又は付加的に、後処理は、イオン照射又は電子照射を含むことができる。さらに、例えばミラー素子の角領域又は縁領域に関連ミラー素子の残りの領域とは異なる後処理を施すために、後処理を、層スタックの1つ又は複数の部分（全体として、層スタックの全範囲又は面積よりも小さい）に局所的に制限することができる。

【0019】

一実施形態によれば、基板は、層スタックの形成後に所定の動作温度に望ましいミラー素子の設定値曲率が得られるように選択された局所的に変化する剛性を有する。

【0020】

本発明はさらに、ミラー素子を製造する方法であって、  
基板を用意するステップと、  
少なくとも1つの反射層系を有する層スタックを基板上に形成するステップと  
を含み、層スタックの形成前に剛性に影響を及ぼす加工を基板に施し、この加工時に、層スタックの形成後に所定の動作温度に望ましいミラー素子の設定値曲率が得られるように剛性を設定する方法にも関する。

【0021】

この態様によれば、本発明は、反射層系を含む層スタックを施した後に、最終的に得られた表面形状が要件を満たす、すなわちミラー素子の所望の設定値曲率が得られるような狙い通りに、適当な加工によって基板の剛性に影響を及ぼすというさらなる概念を含む。

【0022】

換言すれば、この手法は、基板の適切な製造又は加工によって、剛性を狙い通りに調整した結果として層スタックが及ぼす曲げ力に対して所望の方法で基板が反応することを確実にする。結果として、例えば、層スタックが引き起こす曲げ力の局所的变化では概して達成できないか又は辛うじて達成できるに過ぎない、望ましいであろう局所的に変化する基板の曲げを、本発明によれば基板の剛性に狙い通りに影響を及ぼすことによってもたらし

【0023】

一実施形態によれば、基板の局所的に変化する剛性が設定され、この剛性は、層スタックが及ぼす曲げ力と組み合わせることによってミラー素子の所望の表面形状をもたらす。

【0024】

一実施形態によれば、剛性は、基板の変動厚さプロファイルによって少なくともある程度は生じる。

【0025】

基板の厚さプロファイルを変える目的で、適当な材料除去法又は材料付加法を利用することができる。例として、材料除去は、イオンビーム加工（IBF = 「ion beam figuring」）又は任意の他の適当な材料除去法によって行うことができる。例として、材料付加は、スパッタリング法、電子ビーム蒸着、又は任意の他の材料塗布法を含むことができる。

【0026】

一実施形態によれば、基板は第1材料から製造され、剛性は、第1材料とは異なる第2材料の異種原子でドーピングすることによって少なくともある程度は生じる。さらに、例えば、イオン注入も可能である。このようなドーピング又は注入異種原子又はイオンは、例えば、酸素、窒素、フッ素、又は水素の原子又はイオンであり得る。

【0027】

剛性に影響を及ぼすためのさらに他の選択肢は、例えば基板材料の酸化又は窒化、例えば基板材料としてのケイ素を二酸化ケイ素（ $\text{SiO}_2$ ）又は窒化ケイ素（ $\text{Si}_3\text{N}_4$ ）へ

10

20

30

40

50

表面領域で狙い通りに強化して化学転化させることによって、領域毎に狙い通りの化学変化をもたらすことである。ここで、化学構造を狙い通りに変化させること（酸化等）の代替として、モルフォロジ（例えば、位相又は結晶方位）の変化を得ることも可能である。

【0028】

一実施形態によれば、剛性は、特に基板のうち層スタックとは反対側に配置することができる、剛性に影響を及ぼす構造又は層によって少なくともある程度は生じる。このような構造は、例えば、基板のうち反射層スタックに面しない側（「基板裏側」）の追加の薄層（lamellas）又は剛性に影響を及ぼす追加層を含むことができる。さらに他の実施形態では、このような構造又は層を基板表側、すなわち基板のうち反射層スタックに面した側に配置することもできる。さらに、このような構造の実施形態では、このような構造において例えば薄層間に残る隙間に異なる材料を、又は方位、密度等がずれた同じ材料を補充することにより、例えば均一又は平坦な表面を得るようにすることができる。

10

【0029】

一実施形態によれば、基板は、層スタックの形成前には平面であるか又は凸曲率を有する。

【0030】

一実施形態によれば、層スタックは、反射層系と基板との間に追加の張力誘起層を有する。このような追加の張力誘起層は、ニッケル、チタン等の金属材料からの層として、又は例えば、例えば0.5を超える大きな値を有する（さらに別の）モリブデン-ケイ素スタックとして製造することができ（値は、以下でさらに定義するように、関連の層スタックの周期の全厚に対するアブソーバ層厚の比を示す）、結果として所望の機械的張力が層系で発生するように狙い通りに設計することができる。しかしながら、本発明はそれに限定されないので、必要な場合には、層系における所望の機械的張力を反射層系の適当な設計のみによって発生させることもできる。

20

【0031】

原理上、基板又はミラー素子の曲率が温度に依存し、例えば所定の温度での凹曲率を温度の上昇に伴って凸曲率に変えることが可能であることに留意されたい。本発明による方法によって発生した完成ミラー素子の曲率又は屈折力は、所望の（例えば凹）曲率が所定の動作温度で正確に生じるようにこの温度依存性を考慮に入れて発生させる。

【0032】

一実施形態によれば、ミラー素子の所望の設定値曲率は、少なくとも100の動作温度で凹曲率である。

30

【0033】

一実施形態によれば、上記ステップが実行されると、複数のミラー素子がそれぞれ製造され、これらのミラー素子の少なくとも2つは、設定値曲率に関して相互に異なる。

【0034】

一実施形態によれば、相互に異なる設定値曲率を有するミラー素子の製造は、各層スタックが及ぼす同じ曲げ力を設定して、層スタックをそれぞれ異なる厚さを有する基板に施すことによって実行される。

【0035】

一実施形態によれば、相互に異なる設定値曲率を有するミラー素子の製造は、各層スタックが及ぼす異なる曲げ力を設定して、層スタックをそれぞれ異なる厚さを有する基板に施すことによって実行される。

40

【0036】

一実施形態によれば、ミラー素子は、複数のミラー素子からなるミラー構成体のミラー素子である。特に、これらのミラー素子は、相互に独立して傾斜可能であり得る。

【0037】

一実施形態によれば、ミラー構成体はファセットミラー、特に視野ファセットミラー又は瞳ファセットミラーである。

【0038】

50

一実施形態によれば、ミラー素子は、30 nm未満、特に15 nmの作動波長用に設計される。しかしながら、本発明はそれに限定されないで、さらに他の用途では、ミラー素子をVUV領域の波長、特に200 nm未満の波長用に設計することもできる。

【0039】

一実施形態によれば、ミラー素子は、マイクロリソグラフィ投影露光装置のミラー素子である。しかしながら、本発明はそれに限定されず、例えば、特にEUVで動作するように設計することができる測定設備(measurement constructions)で実現可能でもある。

【0040】

いくつかの実施形態では、光学系の、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置の動作時に、関連ミラー素子の温度を設定することによって1つ又は複数の関連ミラー素子の曲率をさらに補正することができる。換言すれば、本発明のいくつかの実施形態では、光学系の(特にマイクロリソグラフィ投影露光装置の)動作時に、関連ミラー素子(又はミラー構成体の複数のミラー素子)を(特に不均一に)加熱することによって、個々のミラー素子の曲率又は屈折力を適合させることさえでき、関連ミラー素子の曲率は、対応する位置における動作温度に応じて変わる。ここで、関連ミラー素子又はマイクロミラーの温度を事前決定及び調整又は制御することによって、個々のミラー素子の曲率又は屈折力を補正することができる。特に、例えば、反射層スタックの上述の本発明による実施形態による曲げ力を用いて曲率又は屈折力を最初に大まかに調整し、最後に述べた温度調整によって微調整することができる。

【0041】

本発明はさらに、本発明による方法を用いて製造されたミラー素子に関する。

【0042】

さらに、本発明は、基板と基板上に配置された少なくとも1つの反射層系を有する層スタックとを備えた、特にマイクロリソグラフィ投影露光装置用のミラー素子であって、基板が、剛性に影響を及ぼす構造、層、又はドーピングにより、又は化学構造又はモルフォロジが変化した領域により局所的に変化する剛性を有するミラー素子に関する。

【0043】

構造又は層は、特に、基板のうち層スタックに面しない側(「基板裏側」)に配置することができ、例えば、追加の薄層又は剛性に影響を及ぼす追加層を含む。さらに他の実施形態では、このような構造又は層は、基板表側すなわち基板のうち反射層スタックに面した側に配置することもできる。

【0044】

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、及びマイクロリソグラフィ投影露光装置に関する。

【0045】

本発明のさらなる構成は、説明及び従属請求項から得ることができる。

【0046】

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】

【0047】

【図1a】本発明による方法の可能な実施形態を説明する概略図を示す。

【図1b】本発明による方法の可能な実施形態を説明する概略図を示す。

【図2】本発明による方法の可能な実施形態を説明する概略図を示す。

【図3】本発明による方法の可能な実施形態を説明する概略図を示す。

【図4】本発明による方法の可能な実施形態を説明する概略図を示す。

【図5】本発明による方法の可能な実施形態を説明する概略図を示す。

【図6】EUVで動作するように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造を説明する概略図を示す。

【図7】EUVで動作するように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造を説明する概略図を示す。

10

20

30

40

50

【図 8】本発明のさらに別の可能な実施形態を説明する概略図を示す。

【図 9】本発明のさらに別の可能な実施形態を説明する概略図を示す。

【図 10】本発明のさらに別の可能な実施形態を説明する概略図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0048】

ミラー素子を製造するための本発明による方法の可能な実施形態を、最初に図 1 a ~ 図 5 を参照して以下で説明する。製造されるミラー素子は、例えば、視野ファセットミラーの形態のミラー構成体のミラー素子又はマイクロミラーとすることができ（本発明はそれ限定されない）、個々のミラー素子は、同一の又は異なる曲率又は屈折力を有することができる。

10

【0049】

全ての実施形態において、反射層系を（例えば、モリブデン層及びケイ素層からなる多層系として）有する層スタックが、いずれの場合も基板に施される。ミラー基板材料は、例えば、ケイ素（Si）又は二酸化チタン（TiO<sub>2</sub>）でドーブした石英ガラスとすることができ、使用可能な材料の例として、ULE（登録商標）（Corning Inc. による）又は Zerodur（登録商標）（Schott AG による）といった商品名で販売されているものが挙げられる。さらに他の実施形態では、ミラー基板材料は、ゲルマニウム（Ge）、ダイヤモンド、ヒ化ガリウム（GaAs）、窒化ガリウム（GaN）、アンチモン化ガリウム（GaSb）、リン化ガリウム（GaP）、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、リン化インジウム（InP）、ヒ化インジウム（InAs）、アンチモン化インジウム（InSb）、フッ化カルシウム（CaF<sub>2</sub>）、酸化亜鉛（ZnO）、又は炭化ケイ素（SiC）も含み得る。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（「キャプ層」）、基板保護層等を、それ自体が既知の方法で設けることができる。

20

【0050】

図 1 a ~ 図 5 を参照して説明される例示的な実施形態に共通するのは、コーティングパラメータ及び / 又は後処理のパラメータの適当な調整とそれにより発生する機械的張力とによって、反射層系を含む層スタックの形成時にいずれの場合もゼロ以外の層スタックの曲げ力が基板に働くことである。

【0051】

本発明によれば、各層スタックの形成時の機械的張力は、材料及び厚さ比（例えば、アブソーバ層厚対周期の全厚の比、この厚さ比をとも称する）を特に反射層系において所望の方法で調整することによって、それ自体が既知の方法で調整される。機械的張力の調整時の手順は、例えば独国特許出願公開第 10 2008 042 212 号明細書から当業者には既知である。さらに、独国特許出願公開第 10 2011 003 357 号明細書から当業者には既知であるように、コーティング中の酸素ドーピング又は酸素添加によって、各層スタックを施す際に機械的張力を調整することもできる。

30

【0052】

反射層系を含む層スタックを基板上に形成する際に発生する機械的張力は、コーティング前の状態での本来の曲率と比べて基板の曲率を変化させることになる。コーティング前の状態の基板の上記本来の曲率は、ゼロに等しくてもよく（すなわち、コーティング前に基板が平坦である）、又は完成ミラー素子の所望の設定値曲率に未対応の有限曲率（例えば、凸曲率）に対応していてもよい。

40

【0053】

図 1 a ~ 図 5 の個々の実施形態は、（例えば視野ファセットミラー等のミラー構成体の）種々のミラー素子が、コーティング前の状態の基板の初期形態又は本来の曲率、ここで発生する機械的張力を考慮したコーティングパラメータの調整、及び任意に（例えば熱的な）後処理に応じて同一の又は異なる曲率で製造される点が異なる。

【0054】

図 1 a によれば、反射層系を含む層スタック 111、112、... をそれぞれ有する平面（ミラー）基板 101、102、... を、初期状態で同一のコーティングパラメータをそれ

50

ぞれ設定してコーティングすることによって、例えば同じ曲率又は屈折力を有する複数のミラー素子を製造することができ、このコーティングの際に、発生する機械的張力及びそれにより生じる各基板 101、102、...に対する曲げ力は、各完成ミラー素子において所望の曲率（個々のミラー素子それぞれで同一）が調整されるように選択される。

【0055】

図1bによれば、各基板103、104、...は、（コーティング前の）初期状態で、最終的に望ましい曲率に未対応である有限曲率を有することもでき、この基板曲率は、続いて層スタックを施す際に発生する機械的張力によって、又は加わる曲げ力によって変化する。具体的には、図1bの例におけるコーティング前の初期状態における基板103、104、...の凸曲率がゼロになり、すなわち完成ミラー素子の平面形状が最終的に生成される。

10

【0056】

図2及び図3は、例えば視野ファセットミラーの形態のマイクロミラー構成体の製造のさらに他の可能な例示的な実施形態を説明する役割を果たし、このマイクロミラー構成体では、個々のミラー素子がさまざまな曲率又は異なる屈折力を有するべきである。ここで、図1と比べて類似の又は実質的に機能的に同等のコンポーネントは、図2では「100」を足した参照符号で示し、図3では「200」を足した参照符号で示す。

【0057】

図2によれば、最終的に製造されたミラー素子で異なる曲率を発生させるために、この場合も平面状だが相互に異なる厚さを有する基板201、202、...を、同じ機械的張力又は曲げ力を調整してそれぞれ1つの層スタックでコーティングする。図2の下部に示すように、これにより、基板の厚さが異なる結果として完成ミラー素子毎に異なる曲率が発生する（図2によれば、基板の厚さが小さいほど発生する曲率は大きい）。

20

【0058】

図3によれば、いわば図2とは逆に、同じ厚さの（本例ではこの場合も平面状である）基板301、302、...を、異なる機械的張力又は曲げ力を発生させる層スタック311、312でコーティングすることによって、最終的に製造されたミラー素子毎に異なる曲率発生させる。図3の下部から分かるように、この場合、層張力を大きく調整した方（図3の右側部分）が、結果として最終的に製造されたミラー素子の曲率が大きくなる。他の実施形態の例では（凸曲率の大きさが異なる初期状態の場合）、層張力が大きい方が、最終状態の曲率を比較的小さくすることもできる。

30

【0059】

本発明のさらに他の実施形態では、初期状態（すなわち、コーティング前）で同じ厚さ及び形状を有する個々の基板に同一のパラメータで（同じ機械的張力を発生させて）コーティング（すなわち、反射層系を含む層スタックの塗布）を施すが、（特に熱的な）後処理をその後に実行することで、個々のミラー素子の層スタックでそれぞれ発生する機械的張力をその後変化させることによって、さまざまな曲率を有するミラー素子をもたらすことも可能である。このような後処理は、例えば、（規定の雰囲気設定での）炉内の焼きなまし、輻射加熱器を用いた熱後処理、又はレーザ照射、イオン照射、若しくは電子照射を用いた後処理（またこれらの方法の組合せ）を含み得る。ここで、必要な場合はミラー裏側から適当な冷却を実行することができる。レーザ照射（後処理を施す領域、例えばミラー素子の角のみを露出させたマスクを用いる可能性がある）が特に、ミラー素子の個々の局所領域を狙い通りに後処理するのに適している。このように、ミラー素子の例えば角領域又は縁領域に対して関連ミラー素子の残りの領域とは異なった後処理又は変形を行うことが可能である。さらに、上述の後処理は、個々のミラー素子（又はいずれの場合もミラーアレイの形態の複数のミラー素子からなる比較的大きな単位）毎に個別に、製造されたミラー素子の全てで同一の方法で、又は上述のように個々のミラー素子で局所的に変えて実行することができる。

40

【0060】

この原理を説明する目的で、図4は、層スタック411、412、...をそれぞれ有する

50

基板 4 0 1、4 0 2、...の最初は均一又は同一のコーティングが、それぞれ最初は同一の曲率（図 4 の中央部）をもたらすが、続いてそれぞれ異なる後処理によって製造されたミラー素子毎に異なる曲率又は屈折力をもたらす様子を示す。

【 0 0 6 1 】

図 5 に概略的に示すように、上述の後処理を用いて、反射層系を含む層スタックの形成後に基板に最初に発生するか又はコーティング前にすでに存在しており、例えば個々のコーティングプロセスにおけるプロセスばらつきから生じ得る望ましくない曲率（例えば、不均一な曲率又は複数の基板 5 0 1、5 0 2、...毎に異なる曲率）を「均一化」することでもできる結果として、最終的に製造されたミラー素子が同じ曲率又は屈折力を有する。

【 0 0 6 2 】

以下において、本発明の実施形態を図 8 ～図 1 0 を参照して説明するが、これらの実施形態では、（図 1 ～図 5 に基づいて上述した方法ステップに加えて、又はそれらの代替として）反射層系を含む層スタックを施す前の基板の剛性に狙い通りに影響を及ぼす。関連ミラー素子は、特に、図 8 ～図 1 0 に示す実施形態でも、例えばマイクロミラー構成体の、例えば視野ファセットミラーのミラー素子であり得る。

【 0 0 6 3 】

この手法は、基板の剛性に狙い通りに影響を及ぼすことで、反射層系を含む層スタックが及ぼす曲げ力に対するその「反応」が決まり、したがってそうすることが、ミラー素子の所望の表面形状又は設定値曲率を最終的にもたらすか又はそれに寄与するのにも適しているという概念に基づく。

【 0 0 6 4 】

図 8 ～図 1 0 に単に概略的に示す実施形態では、基板の剛性に上述のように狙い通りに影響を及ぼすことが、基板の材料除去又は材料付加加工を実行することによって実行される。

【 0 0 6 5 】

図 8 a（背面図）及び b（断面）によれば、基板 8 0 1 が、例えばエッチングによって（例示的にスポーク状に配置されているのみである）複数の領域 8 0 1 a を薄板化されており、残りの領域 8 0 1 b では比較的大きな厚さを有する。単に例示的に、図 9 a 及び b は、背面図（a）及び断面（b）で、径方向に連続的に厚さを除去した基板 9 0 1 のさらに別の実施形態を示す。さらに他の実施形態では、図 9 の b に示す連続的な厚さ変化を 8 a の改良形態（すなわち、背面図中の各領域の対応する形状）と組み合わせることもでき、又は図 8 に示す厚さ変化を、図 9 の a に示す改良形態（すなわち、背面図中の各領域の対応する形状）等と組み合わせることができる。

【 0 0 6 6 】

図 1 0 a 及び b は、同様に単に例示的にさらに他の改良形態を示し、図 1 0 の a では、（この場合も異なる厚さを有する領域 9 5 1 a 及び 9 5 1 b をもたらすために）基板 9 5 1 が異なるサイズの円形領域 9 5 1 a において薄板化されており、図 1 0 の b によれば、基板 9 6 1 に径方向に配置された薄いウェブが（比較的大きな厚さを有する領域 9 6 1 b として、したがってそれらの間には同様に比較的薄い領域 9 6 1 a がある）設けられている。

【 0 0 6 7 】

剛性に関して基板に影響を及ぼすことに関しては、本発明は基板の材料除去又は材料付加加工に限定されない。したがって、さらに他の実施形態では、異種原子又でのドーピング又は（例えば、酸素、窒素、フッ素、又は水素の原子又はイオンの）イオン注入によって、化学転化、レーザ処理によって、又は特に基板のうち層スタックとは反対側（「基板裏側」）に配置することができる（例えば、薄層の形態の）剛性に影響を及ぼす構造によって、基板の剛性に少なくともある程度は影響を及ぼすこともできる。基板のうち層スタックに面した側（「基板表側」）への配置も同様に可能であるが、所望の光学特性が損なわれないよう留意しなければならない。

【 0 0 6 8 】

いくつかの実施形態では、例えば薄層間の構造の各隙間に、異なる材料又は配向、密度等がずれた同じ材料を補充することにより、例えば均一又は平滑な表面を得るようにすることができる。

【0069】

さらに他の実施形態では、剛性に影響を及ぼす追加層を、基板のうち反射層スタックに面しない側に設けることもできる。

【0070】

図6は、EUVで動作するように設計された、本発明を実現可能な1つの例示的な投影露光装置の概略図を示す。

【0071】

図6によれば、EUV用に設計された投影露光装置600の照明デバイスが、視野ファセットミラー603及び瞳ファセットミラー604を備える。プラズマ光源601及びコレクタミラー602を備えた光源ユニットからの光が、視野ファセットミラー604へ指向される。第1望遠鏡ミラー606及び第2望遠鏡ミラー606が、瞳ファセットミラー604の下流の光路に配置される。偏向ミラー607が、光路の下流に配置され、当該偏光ミラーは、入射した放射線を6個のミラー651～656を備えた投影レンズの物体平面内の物体視野へ指向させる。物体視野の場所で、マスクステージ620に反射構造担持マスク621が配置され、これは、投影レンズを用いて像平面に結像され、像平面には、ウェハステージ660上に感光層（フォトレジスト）でコーティングされた基板661がある。

【0072】

本発明を制限するものではないが、本発明による方法は、図6からの視野ファセットミラー603の製造に特に有利に、さらに、特に視野ファセットミラー603の個々の視野ファセットがさらに個々のミラー素子又はマイクロミラーからなる場合に、適用可能である。

【0073】

視野ファセットミラーのこのような「サブファセット化（sub-faceting）」は、米国特許出願公開第2011/0001947号明細書からそれ自体が当業者に既知であり、単一の視野ファセット700に基づいて図7に概略的に示すように、複数の平面ミラー素子701、702、703、...それぞれがその法線ベクトルを適切に調整することによって整列して、結果として（巨視的な）ミラーファセットの通常の球面が再現されるように、例えば実行することができる。しかしながら、その際に、図6からの瞳ファセットミラー604の瞳ファセットの光学効果が、図6からの視野ファセットミラー603の視野ファセット700の個々のミラー素子701、702、703、...の「不正確な」屈折力によって損なわれ得る。

【0074】

上記問題は、ここで、視野ファセット700の個々のミラー素子701、702、703、...を平面状ではなく適当な曲率半径又は適当な屈折率で製造することによって克服することができる。例として、個々のミラー素子701、702、703、...のそのような曲率又は屈折力は、イオン照射又はグレースケールリソグラフィによって得ることができるが、これは（特に、ミラー素子701、702、703、...の必要な個片化を考えると）時間及び費用に関する支出の増加に結び付く。図1a～図5を参照して説明した、コーティングプロセスにおいて各基板に層スタックを施す際に加わる曲げ力を利用することによる規定の曲率半径又は屈折力の実現は、この場合に特に適しているが、それは、例えば最初に平面基板を所望のように（特に凹状に）変形させるために、コーティングプロセス（いずれの場合も必要であり、したがって付加的な製造ステップを要しない）が単に適当に規定されるからである。

【0075】

しかしながら、本発明はファセットミラーへの適用に制限されず、原則として、他のミラーを（複数のミラー素子からなるものでなくても）本発明に従って設計することもでき

10

20

30

40

50

る。

【 0 0 7 6 】

本発明を特定の実施形態に基づいて説明したが、多くの変形形態及び代替的な実施形態が、例えば個々の実施形態の特徴の組合せ及び／又は交換により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、このような変形形態及び代替的な実施形態は本発明に付随して包含され、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲及びその等価物の意味の範囲内でのみ制限される。

【 図 1 a 】

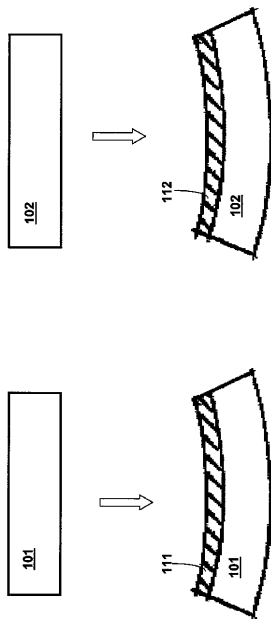


Fig. 1a

【 図 1 b 】

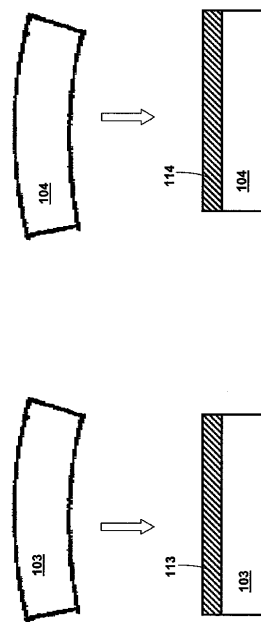


Fig. 1b

【図 2】

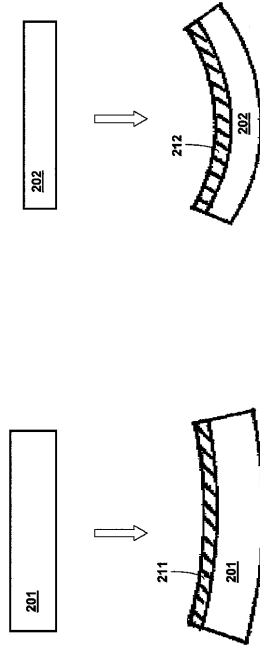


Fig. 2

【図 3】

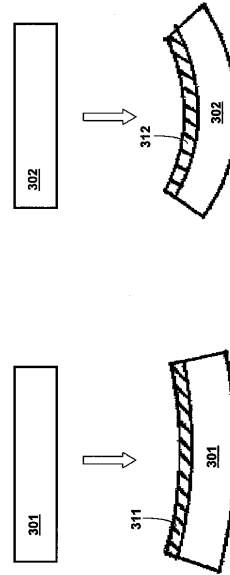


Fig. 3

【図 4】

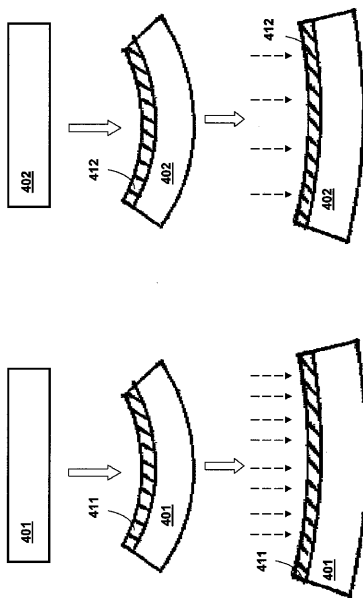


Fig. 4

【図 5】

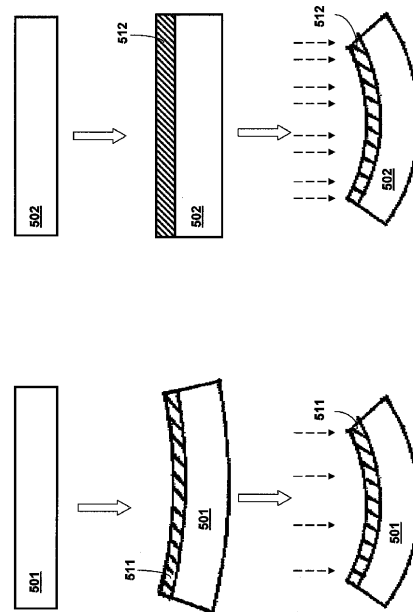


Fig. 5

【図 6】

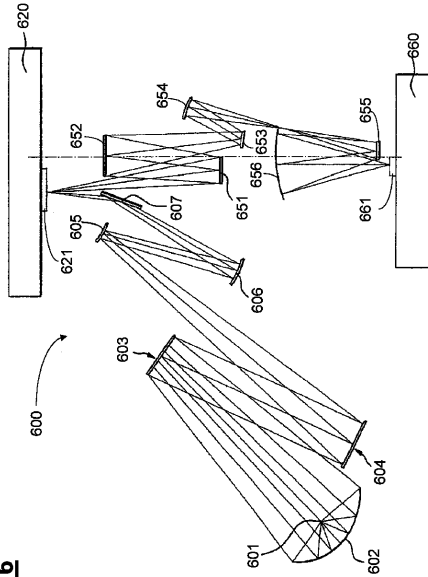


Fig. 6

【図 7】

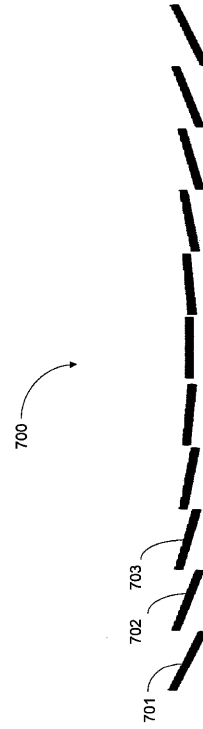
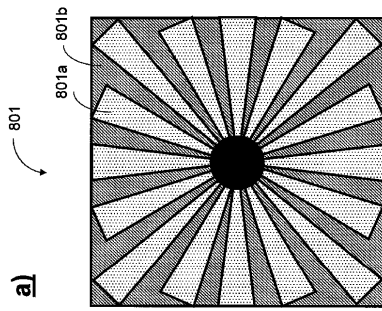


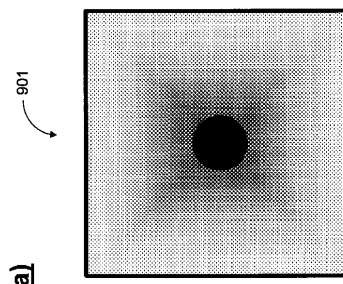
Fig. 7

【図 8 a )】



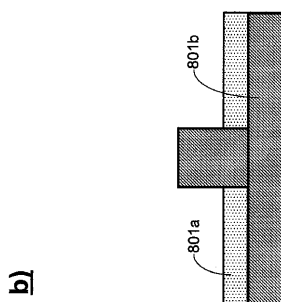
a)

【図 9 a )】



a)

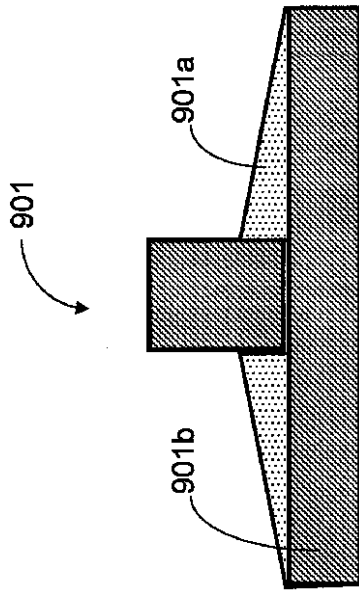
【図 8 b )】



b)

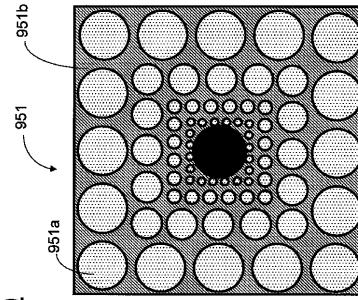
【図 9 b )】

b)



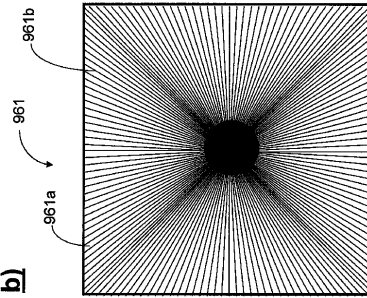
【図 10 a )】

a)



【図 10 b )】

b)



## フロントページの続き

(72)発明者 ペーター フーベル

ドイツ国 8 9 5 1 8 ハイデンハイム イーゲルヘッケ 1 9

(72)発明者 セバスチャン シュトローベル

ドイツ国 7 3 4 3 0 アーレン ルートヴィヒシュトラッセ 3 7

審査官 長谷 潮

(56)参考文献 特開2007-108194(JP,A)

特開2008-109060(JP,A)

特開2004-128490(JP,A)

特開2002-311198(JP,A)

特表2012-519951(JP,A)

国際公開第2006/092919(WO,A1)

特開2008-270808(JP,A)

国際公開第2013/050199(WO,A1)

特開2007-193131(JP,A)

特開2008-101916(JP,A)

特開2007-329368(JP,A)

特表2003-505891(JP,A)

特開2002-222764(JP,A)

特表2002-504715(JP,A)

特開昭58-217901(JP,A)

特開平06-186418(JP,A)

特開平09-197124(JP,A)

特開2008-225421(JP,A)

米国特許出願公開第2010/0246036(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 7/20 - 7/24

G03F 1/00 - 1/86

G02B 5/08

G21K 1/06