

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5934698号  
(P5934698)

(45) 発行日 平成28年6月15日 (2016. 6. 15)

(24) 登録日 平成28年5月13日 (2016. 5. 13)

(51) Int. Cl.

F I

G O 3 F 7/20 (2006. 01)

G O 3 F 7/20 5 0 3

G O 3 F 1/22 (2012. 01)

G O 3 F 1/22

G O 3 F 1/60 (2012. 01)

G O 3 F 1/60

請求項の数 24 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2013-508482 (P2013-508482)  
 (86) (22) 出願日 平成23年5月3日 (2011. 5. 3)  
 (65) 公表番号 特表2013-530517 (P2013-530517A)  
 (43) 公表日 平成25年7月25日 (2013. 7. 25)  
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2011/057074  
 (87) 国際公開番号 W02011/138340  
 (87) 国際公開日 平成23年11月10日 (2011. 11. 10)  
 審査請求日 平成26年3月11日 (2014. 3. 11)  
 (31) 優先権主張番号 61/330, 517  
 (32) 優先日 平成22年5月3日 (2010. 5. 3)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 102010028488. 2  
 (32) 優先日 平成22年5月3日 (2010. 5. 3)  
 (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、7 3 4 4 7 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 100147692  
 弁理士 下地 健一  
 (74) 代理人 100132045  
 弁理士 坪内 伸  
 (72) 発明者 ジュリアン カーラー  
 ドイツ国 8 9 5 5 1 ケーニヒスブロン  
 シュタインハイマー ヴェーク 1 0  
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 E U Vリソグラフィ用ミラーの基板およびその製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

1 5 の温度間隔 Tにおける1 0 p p b以下の平均相対長手方向熱膨張と、2 0 ~ 4 0 の範囲のゼロ交差温度とを有する、E U Vリソグラフィ用ミラーの基板であって、ガラスセラミック材料とチタンドープ石英ガラスを混合した材料、又は、ガラスセラミック材料とコーディエライトを混合した材料より構成される基板。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の基板であって、3 0 の温度間隔 Tにおける1 0 p p b以下の平均相対長手方向熱膨張を有する基板。

## 【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の基板であって、1 5 の温度間隔 Tにおける5 p p b以下の平均相対長手方向熱膨張を有する基板。

## 【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載の基板であって、2 8 ~ 3 3 の範囲のゼロ交差温度を有する基板。

## 【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載の基板であって、2 8 ~ 3 3 の範囲の平均ゼロ交差温度を有する基板。

## 【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の基板であって、基板 ( 1 ) の表面に垂直な方向に、

平均熱膨張係数の不均質な分布を有する基板。

【請求項 7】

基板 ( 1 ) の表面に垂直な方向に平均熱膨張係数の不均質な分布を有する E U V リソグラフィ用ミラーの基板であって、該基板の表面に垂直な方向のゼロ交差温度が、該表面からの距離が増大するに従って減少する基板。

【請求項 8】

基板 ( 1 ) の表面に垂直な方向に平均熱膨張係数の不均質な分布を有する E U V リソグラフィ用ミラーの基板であって、 1 c m 以上の幅の少なくとも一つの材料片 ( 6 ) は、周囲の材料 ( 5 ) よりも高いゼロ交差温度を有し、

より高いゼロ交差温度を有する材料片 ( 6 ) が表面に配置される基板。

10

【請求項 9】

請求項 8 に記載の基板であって、該基板の表面全体に延在し、より低いゼロ交差温度を有する第 2 材料片 ( 8 , 1 1 ) に隣接する第 1 材料片 ( 7 , 1 0 ) を備え、該第 2 材料片もまた、基板 ( 1 ) の表面全体に延在し、加熱装置 ( 9 ) を有する基板。

【請求項 1 0】

ゼロ交差温度の本質的に周期的な分布を有する E U V リソグラフィ用ミラーの基板であって、基板 ( 1 ) の表面の面における周期長さが、該表面に垂直な方向の周期長さよりも長い基板。

【請求項 1 1】

E U V リソグラフィ用ミラーの基板であって、少なくとも 2 つのセクション ( A 1 , A 2 , A 3 ) が相互に重ねて配置され、そのどちらもゼロ交差温度の本質的に周期的な分布を有し、一つのセクション ( A 1 , A 2 ) の熱膨張係数の分布が、別のセクション ( A 2 , A 3 ) のゼロ交差温度の分布に対して周期長さの半分ずらされている基板。

20

【請求項 1 2】

請求項 1 ~ 1 1 の何れか一項に記載の基板であって、該基板の表面に研磨層 ( 2 ) を有する基板。

【請求項 1 3】

請求項 1 から 1 2 の何れか一項に係る E U V リソグラフィ用ミラーの基板を製造する方法であって、

・低熱膨張係数と、異なるゼロ交差温度とを有する、少なくとも一つの第 1 材料および少なくとも一つの第 2 材料を選択するステップと、  
・前記材料を混合、接合するステップと、  
・前記基板の表面処理を行うステップとを含む方法。

30

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の方法であって、チタンドープ石英ガラスが材料として選択される方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 から 1 2 の何れか一項に係る E U V リソグラフィ用ミラーの基板を製造する方法であって、

・低熱膨張係数と、温度の関数として相対熱膨張の逆の勾配とを有する少なくとも一つの第 1 材料および少なくとも一つの第 2 材料を選択するステップと、  
・前記材料を混合、接合するステップと、  
・前記基板の表面処理を行うステップとを含む方法。

40

【請求項 1 6】

請求項 1 5 に記載の方法であって、ガラスセラミック材料およびチタンドープ石英ガラスを材料として選択する方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 5 または 1 6 に記載の方法であって、前記選択した材料のゼロ交差温度が 2

50

未満異なる方法。

【請求項 18】

請求項 15 ~ 17 の何れか一項に記載の方法において、前記選択した材料のゼロ交差温度が等しい方法。

【請求項 19】

請求項 15 ~ 18 の何れか一項に記載の方法において、前記選択した材料の混合比率は、温度の関数としてのそれらの相対熱膨張の勾配における異なる値を考慮して決定する方法。

【請求項 20】

請求項 1 から 12 の何れか一項に係る E U V リソグラフィ用ミラーの基板を製造する方法であって、

- ・低熱膨張係数を有する材料を潰すステップと、
- ・前記材料を混合、接合するステップと、
- ・前記基板の表面処理を行うステップと

を含む方法。

【請求項 21】

請求項 13 ~ 20 の何れか一項に記載の方法において、 $20 \sim 40$  の範囲のゼロ交差温度と、温度の係数として  $10 \text{ ppb} / \text{K}^2$  未満の値の相対熱膨張の勾配とを有する材料を選択する方法。

【請求項 22】

請求項 13 ~ 21 の何れか一項に記載の方法において、前記材料の混合および接合は、粘着状に混ぜ合わせるによって行う方法。

【請求項 23】

請求項 13 ~ 22 の何れか一項に記載の方法において、混合の準備として前記材料をすり潰し、混合した前記材料を焼結することによって接合を行う方法。

【請求項 24】

請求項 1 ~ 8 の何れか一項に記載の基板 ( 1 ) と反射層 ( 5 ) とを備えた、E U V リソグラフィ用ミラー。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、E U V リソグラフィ用ミラーの基板に関するものである。また本発明は、熱膨張係数の本質的に周期的な分布を有する E U V リソグラフィ用ミラーの基板に関するものである。さらに本発明は、E U V リソグラフィ用ミラーの基板の製造方法および E U V リソグラフィ用ミラーに関するものである。

【背景技術】

【0002】

例えばリソグラフィ法による半導体部品の製造において、より微細な構造の製造を可能にするために、より短い波長の光が使用されるようになってきた。極紫外線 ( E U V ) 波長領域、具体的には約  $5 \text{ nm} \sim 20 \text{ nm}$  の波長で作業する場合、透過モードでレンズ状素子を使って作業することは不可能となり、各使用波長に適合する反射性コーティングを有する反射性光学素子を備えた、露光対物レンズおよび投影対物レンズが構成される。

【0003】

特に、E U V リソグラフィ用反射性光学素子の基板材料として、リソグラフィ工程中の温度および室温においてゼロに近い熱膨張係数を有する、いわゆるゼロ膨張材料が使用される。最有力候補は、ガラスセラミック材料およびチタンをドーピングした石英ガラスである。珪酸塩鉱物グループの鉱物であるコーディエライトも使用することができ、この場合、熱膨張係数は、種々の添加剤を添加することによって影響を受ける。3つの材料グループは全て、実際に使用する材料に依存する温度で、本明細書では温度の関数としての相対長

10

20

30

40

50

手方向膨張における温度の差と定義される熱膨張係数が、ゼロに等しくなるように製造される。この温度はゼロ交差温度とも称される。チタンドープ石英ガラスおよびコーディエライトを使用すると、ゼロ交差温度は、厳密に制御された再熱サイクル中の再結晶工程によって、ガラスセラミック材料への添加剤の含有量による影響を受けることがある。

【 0 0 0 4 】

EUVリソグラフィ用ミラーの基板材料として使用するには、熱膨張が、リソグラフィ工程中の室温と動作温度との間の温度範囲において、できるだけ小さくなるように注意しなければならない。EUVリソグラフィに求められる結像精度要件を満たすことができるように、とりわけ、ミラーの光学使用面の三次元プロファイルの許容差は、例えば、紫外線放射を用いたリソグラフィにおけるものよりも実質的に小さい。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

本発明の目的は、周知の基板を、EUVミラーの基板としての有用性に関して改善することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

第1の態様によれば、本目的は、15 の温度間隔  $T$  における10 p p b以下の平均相対長手方向熱膨張と、20 ~ 40 の範囲のゼロ交差温度とを有する、EUVリソグラフィ用ミラーの基板によって実現される。

20

【 0 0 0 7 】

このような長手方向熱膨張を有する基板は、EUVリソグラフィ用ミラーの基板として適切であり、この場合、例えば20 ~ 40 の範囲の動作条件下において所望される結像特性を実現させるには、最初の形状適合性を高精度で維持しなければならないことがわかっている。動作条件はとりわけ高い熱負荷をもたらすことのある、ミラーにおけるEUV放射の吸収によって決定される。このような平均相対長手方向熱膨張を有する基板は、例えば、その長手方向熱膨張が少なくとも部分的に相互に補償される基板材料を組み合わせることによって得ることができる。

【 0 0 0 8 】

好適な実施形態では、長手方向熱膨張は、30 の温度間隔  $T$  において10 p p b以下である。さらに好適な実施形態では、長手方向熱膨張は、15 の温度間隔 において5 p p b以下である。上述の第1の実施形態は、具体的には、照明システムにおけるビーム路の前面に配置されているミラーのように、とりわけ高熱負荷を有するEUVミラー用の基板として特に適している。上述の第2の実施形態による基板は、EUVリソグラフィ装置の投影システムの一部であるミラーに、特に適している。これらのミラーはビーム路の後ろにさらに設置され、従って、低熱負荷に露出される。これらのミラーは、構成される素子上のマスクおよびレチクルの結像構造に直接使用されるので、寸法精度に関する要件は特に厳しい。

30

【 0 0 0 9 】

好適には、基板は28 ~ 33 の範囲のゼロ交差温度を有している。

40

【 0 0 1 0 】

第2の態様によれば、本目的は、少なくとも3000 cm<sup>3</sup>の体積を有するEUVリソグラフィ用ミラーの基板によって実現され、この場合、10 cm<sup>3</sup>以下の任意の特定の部分的な体積において平均されたゼロ交差温度は2 未満変動する。このようなゼロ交差温度の均質性を有する基板は、低均質性を有するブランクの潰し、混合、および再溶解または焼結によって製造することができる。このような基板は、EUVリソグラフィ用ミラーに特に適している、というのも、これらのミラーは大型化することができ、幾何学的寸法を考慮しても、熱的に大変安定したミラーだからである。

【 0 0 1 1 】

好適には、基板は、15 の温度間隔 において10 p p b以下、より好適には30

50

の温度間隔 において 1 0 p p b 以下、最も好適には 1 5 の温度間隔 において 5 p p b 以下の平均相対長手方向熱膨張を有している。

【 0 0 1 2 】

好適には、基板は、 2 0 ~ 4 0 、より好適には 2 8 ~ 3 3 の範囲における平均ゼロ交差温度を有している。

【 0 0 1 3 】

さらなる態様において、本目的は、基板の表面に垂直な方向に平均熱膨張係数の不均質な分布を有する基板によって実現される。この場合、基板の表面とは、例えば、さらにミラーへ加工される際に、例えば反射コーティングを塗布することによって、光学的に使用される基板の表面のことを指している。基板の表面に垂直な方向の平均熱膨張係数の分布の不均質性は、動作中に予想される熱負荷に基板を選択的に適合させるために利用することができる。このために、例えば、基板は異なる熱膨張係数または異なるゼロ交差温度を有する、2 つ以上の基板の一部を組み合わせることによって構成してもよい。また、空間的な不均質性を有する基板を材料ブランクから切り取り、それを予想される熱負荷に適用することも可能である。有利には、平均熱膨張係数の不均質な分布を有する基板は、上述のような平均相対長手方向熱膨張またはゼロ交差温度の均質な分布を有している。

【 0 0 1 4 】

さらなる態様の中の一つにおいて、ゼロ交差温度は、表面からの距離が増すにつれて、基板の表面に垂直な方向に減少するのが特に有利であることが分かっている。ゼロ交差温度の分布を、動作条件下で予想される基板の温度分布に適合させることにより、望ましくない熱膨張を特に良く回避することができる。回避できない場合、熱膨張は、基板と高反射コーティングとを備えた E U V ミラーの光学特性に有害な影響を与えてしまう。ゼロ交差温度のプロファイルは、深さが増すにつれて熱負荷が小さくなるに従い、それに対応して徐々に減少するように、深さにおいて選択することができる。この適合手段により、局所的動作温度とそれに適用できるゼロ交差温度との間の小さな差異、およびそれによる最小限の体積変化を、大きな深さの範囲において実現することができる。

【 0 0 1 5 】

その他のさらなる態様において、基板は、それを囲む基板材料よりも高いゼロ交差温度を有する、少なくとも一つの 1 c m 以上の膨張を有する材料片を備えている。有利には、この材料片を、E U V リソグラフィ中にその周囲領域よりも高い熱負荷が予想される基板上に配置する。特に好適には、より高いゼロ交差温度を有するこのような材料片を基板の表面に配置し、反射層などの被覆層に吸収される、基板の表面に衝突する E U V 放射の割合が、最小限の熱膨張を生じるようにする。

【 0 0 1 6 】

本態様のさらなる変形例において、第 1 材料片は、基板の表面全体にわたって延在し、低ゼロ交差温度を有する第 2 材料片に隣接し、該第 2 材料片もまた該基板の表面全体にわたって延在し、該基板は加熱装置を有している。このような基板はバイメタルのように反応する。2 つの異なるゼロ交差温度の範囲において、特に、結果的に生じる変形は、E U V リソグラフィ中に熱が導入されるに従い、基板の表面に垂直な方向の小さな相対長手方向熱膨張の範囲内で変化する。有利には、最大熱導入が予想される表面の反対側の基板表面上に、加熱装置を配置する。これは通常、光学的に使用される基板表面である。このような加熱装置は、E U V リソグラフィ工程中の E U V 放射の衝突によって生じる変形を補償するのに有用である。また一方で、他の検出された結像誤差を修正するために、ミラー形状 (dimensional fit) の選択的な変形を生じさせてもよい。

【 0 0 1 7 】

第 5 の態様によれば、本目的は、ゼロ交差温度の本質的に周期的な分布を有する E U V リソグラフィ用ミラーの基板によって実現され、この場合、基板表面の面における周期長さは、該表面に垂直な方向の面における周期長さよりも長い。ここでも基板表面は、光学的に使用される基板の表面のことを指している。ゼロ交差温度の本質的に周期的な分布は、特に直接蒸着法によって製造される基板材料において生じることがある。該周期的な分

10

20

30

40

50

布は、チタンドープ石英ガラスにおいて特に頻繁に生じる。特に顕著な周期的変動は、例えば直接蒸着法によって生じ、この場合、結果的に生じる材料ブランクは、蒸着装置に対して回転される。基板を、基板の表面の面における周期長さが該表面に垂直な方向の面における周期長さよりも大きくなるようにブランクから切り取ることによって、基板表面の最大および最小のゼロ交差温度間の横方向距離を最大限にすることができ、これによって長波形状偏差誤差 (dimensional fitting errors) のみが不均質な熱膨張によって誘発され、この誤差は、適切なマニピュレータによって、短波形状偏差誤差 (dimensional fitting errors) よりも簡単に補正することができる。同時にこの効果を、ミラー表面下の深さにおいて、最大および最小のゼロ交差温度が比較的短い距離で重なり、これらによって生じる変形が少なくとも部分的に相互に補償し合うように使用してもよい。

10

#### 【 0 0 1 8 】

第6の態様によれば、本目的は、相互に重ねて配置される少なくとも2つの材料片を備えるEUVリソグラフィ用ミラーの基板によって実現され、この場合、どちらの材料片も、ゼロ交差温度の本質的に周期的な分布を有しており、片方の材料片のゼロ交差温度の分布は、もう片方の材料片のゼロ交差温度の分布に対して半分の周期長さ分ずれている。これらの手段によって、基板の表面に垂直な方向のゼロ交差温度の極大値および極小値が、最小限の周期長さで相互に続く上述の効果を、より高いまたはより低いゼロ交差温度を有する領域において種々の熱膨張の最大の補償を実現するために、使用することができる。

#### 【 0 0 1 9 】

特に好適な実施形態において、EUVリソグラフィ用ミラーの基板は、その表面に研磨層を有している。特に、ガラスセラミック材料を基板材料として少なくとも部分的に使用する場合、基板表面は、高反射EUVコーティングまで伝わり、該コーティングの効率を大きく落としてしまうほど顕著なマイクロ粗さを有していることがある。小さなマイクロ粗さを得るために、研磨に特に適した研磨層を材料の基板表面に塗布することにより、基板表面は、反射層を塗布してさらにミラーへ加工を行う際に、反射層の機能性が基板表面による影響をできるだけ少なく受けるように処理することができる。

20

#### 【 0 0 2 0 】

第7の態様によれば、本目的は、EUVリソグラフィ用ミラーの基板を製造する方法によって実現され、該方法は、

- ・低熱膨張係数と、異なるゼロ交差温度とを有する少なくとも一つの第1材料および少なくとも一つの第2材料を選択するステップと、
  - ・これらの材料を混合、接合するステップと、
  - ・前記基板の表面処理を行うステップと
- を含んでいる。

30

#### 【 0 0 2 1 】

さらに本目的は、EUVリソグラフィ用ミラーの基板を製造する方法によって実現され、該方法は、

- ・低熱膨張係数を有する材料を潰すステップと、
  - ・これらの材料を混合、接合するステップと、
  - ・前記基板の表面処理を行うステップと
- を含んでいる。

40

#### 【 0 0 2 2 】

これらの2つの方法は、少なくとも  $3000\text{ cm}^3$  の体積を有する、EUVリソグラフィ用ミラーの基板を、簡単かつ費用効率の高いやり方で製造する場合に特に適しており、この場合、 $10\text{ cm}^3$  以下の任意の特定の部分的な体積において平均されたゼロ交差温度は2未満変動する。上述の第1の方法において、所望される平均ゼロ交差温度は、適切な材料および混合比率を選択することによって調整することができる。所望の範囲の平均ゼロ交差温度を有する材料がすでに存在する場合、第2の方法によって、ゼロ交差温度に関してそれを均質化してもよい。

#### 【 0 0 2 3 】

50

有利には、 $20 \sim 40$  の範囲のゼロ交差温度を有し、温度の関数としての相対熱膨張の勾配が  $10 \text{ ppb/K}^2$  未満の材料を選択する。特に好適には、チタンドープ石英ガラスを選択し、この場合、結果的に生じるゼロ交差温度は、チタンの含有量によって非常に選択的に影響を受ける。

#### 【0024】

第7の態様によれば、本目的は、 $15$  の温度間隔 において  $10 \text{ ppb}$  以下の平均相対長手方向熱膨張を有するEUVリソグラフィ用ミラーの基板を製造する方法によって実現され、該方法は、

- ・低熱膨張係数と、温度の関数として熱膨張の逆の勾配とを有する、少なくとも一つの第1材料および少なくとも一つの第2材料を選択するステップと、
  - ・これらの材料を混合、接合するステップと、
  - ・前記基板の表面処理を行うステップと
- を含んでいる。

#### 【0025】

逆符号の熱膨張係数を有する材料を選択することにより、広い温度範囲にわたって相対熱膨張がほぼゼロの複合材料を新たに生成できることがわかっている。概して、逆符号を持つ熱膨張係数の効果は、基板全体にわたって相互に打ち消される。混合する前に材料を潰すことによって、複合材料の基板全体の不均質性は、例えば所望しない粗さを生じさせないくらいに小さくなることが保証される。基板の厚さにおいて異なる混合比率を調整することにより、基板表面に垂直な方向の平均熱膨張係数の不均質な分布を得ることができる。

#### 【0026】

有利には、 $20 \sim 40$  の範囲のゼロ交差温度と、絶対値での温度の関数として  $10 \text{ ppb/K}^2$  以下の相対熱膨張の勾配とを有する材料を選択する。特に好適には、片方にはチタンドープ石英ガラスを、そしてもう片方にはガラスセラミック材料を選択する。これら2種類の材料は、温度の関数として熱膨張の逆の勾配を有している。完全に混合することによって、片方の材料の熱膨張ともう片方の材料の熱膨張とが少なくとも部分的に互いに打ち消し合う基板を製造することができる。

#### 【0027】

温度の関数としての相対長手方向膨張の特に平坦なプロファイルを得るには、好適には、ゼロ交差温度の差異が  $2$  未満の材料を選択する。特に好適には、同じゼロ交差温度の材料同士を混合する。

#### 【0028】

温度の関数としての相対長手方向熱膨張の特に平坦なプロファイルは、選択された材料の混合比率を決定する際に、温度の関数として長手方向熱膨張の勾配の異なる絶対値を考慮することによって実現することができる。例えば、片方の材料の温度の関数としての長手方向熱膨張の勾配が、逆符号の熱膨張係数を有する材料の長手方向熱膨張の勾配よりも大きい場合、第2材料の割合を第1材料の割合よりも大きくして添加すると有利である。

#### 【0029】

好適には、特にチタンドープ石英ガラスを混合する場合には、材料の混合および接合は、材料を粘着状態まで混ぜ合わせることによって行う。ガラスセラミック材料を追加的に、または単独で混合する場合、混合する前に材料を粉碎し、該混合物を焼結によって接合して、制御された熱処理によって、ゼロ交差温度に影響を与えるようにすると、特に有利である。

#### 【0030】

最後の態様によれば、本目的は、上述の基板および反射層を備えたEUVリソグラフィ用ミラーによって実現される。EUV波長範囲で高反射性を実現するには、反射層は、好適には複層システムである。複層システムは、EUVリソグラフィが実行される波長で、より高い実部屈折率を有する材料（スペーサとも称する）と、使用波長で、より低い実部屈折率を有する材料（アブソーバとも称する）とを交互に塗布した層であり、一組のアブ

10

20

30

40

50

ソーバとスペーサが積層体を形成している。一連の複数の積層体が本質的に結晶をシミュレートし、この場合、格子面はアブソーバ層に相当し、その上でブラッグ反射が発生する。個々の層の厚さおよび反復積層体の厚さは、複層システム全体において一定としてもよいし、または、実現する反射プロファイルによって変えてもよい。

【0031】

本明細書に記載する基板の中の1つを有するミラーは、特にリソグラフィ工程中、EUV放射によって生じる熱膨張と、個々のミラー上の関連する熱負荷とを特に低いレベルで保つことができ、ミラーの光学的機能に悪影響を与えないという利点がある。

【0032】

上述の、そして他の特徴は、説明、図面および特許請求の範囲から生じるものであり、個々の特徴は、単独で、または本発明の実施形態と異なる分野との組み合わせの形で実現することができ、そして有利には、保護可能な形態とすることができる。

10

【0033】

有利な実施形態を参照して、本発明をより詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】 a ~ c は基板の3つの実施形態を概略的に示したものである；

【図2】 EUVミラーの実施形態を概略的に示したものである；

【図3】 基板の第4実施形態を概略的に示したものである；

【図4】 基板の第5実施形態を概略的に示したものである；

20

【図5】 基板の第6実施形態を概略的に示したものである；

【図6】 図4による基板の実施形態の温度の関数としての熱膨張を示したものである；

【図7】 種々の基板材料の温度の関数としての熱膨張の基本的な展開を示したものである；

；

【図8】 2つの異なる基板材料およびそれらの材料から製造された複合材料基板の、温度の関数としての熱膨張を示したものである；

【図9】 2つの異なる基板材料およびそれらの材料から製造された複合材料基板の、温度の関数としての熱膨張における勾配のグラフである；

【図10】 材料ブランクの異なるゼロ交差温度における分布を示したものである；

【図11】 図9に示す材料ブランクから基板を切り取る可能性を示したものである；

30

【図12】 a および b は、図9に示す材料ブランクから基板を切り取る第2の可能性を示したものである；

【図13】 a および b は、図9に示す材料ブランクから基板を得る第3の可能性を示したものである；

【図14】 EUVミラー用基板のさらなる実施形態を示したものである；

【図15】 EUVミラー用基板の製造方法の第1実施形態を示したものである；

【図16】 EUVミラー用基板の製造方法の第2実施形態を示したものである；

【図17】 EUVミラー用基板の製造方法の第3実施形態を示したものである；

【発明を実施するための形態】

【0035】

40

図1aは、ガラスセラミック材料、チタンドープ石英ガラスまたはコーディエライトをベースとする、ゼロ膨張材料の光学素子の基板1を概略的に示したものである。ガラスセラミック材料は、ガラス基質内に、通常100nm未満の膨張の結晶を有している。一定の温度範囲において、これらの結晶は一定しているが、ガラス基質は同時に膨張していく。これら2つの効果は打ち消し合い、ガラスセラミック材料の熱膨張係数は、この温度範囲において本質的にゼロとなる。反射性光学素子の部品として使用するために、それらを研磨して形状的に正確に適合させる場合、材料はガラス基質から取り除かれる場合とは異なったやり方で結晶から取り除かれるという問題がある。しかしながら、チタンドープ石英ガラスは研磨に適している。

【0036】

50



粗さを低減させるために、基板 1 に研磨層 2 を設ける。ここに示す例では、研磨層 2 は石英ガラスをベースにしており、極めて均質な高粘性液体からなる該ガラスは、非常に小さな表面粗さおよび長さ尺度  $1\text{ mm} \sim 10\text{ nm}$  に研磨することができる。二酸化ケイ素は別として、研磨に適したその他の材料も使用することができる。

#### 【0037】

研磨層 2 を基板 1 の表面 13 に塗布する前に、所望する最終形状に基板をできる限り近づける。研磨層 2 は、化学的蒸着 (CVD) 法、特にプラズマ CVD 法、または物理的蒸着 (PVD) 法、特にイオン PVD 法などの通常の被覆法によって塗布することができる。特に、石英ガラスに被覆層を設けるソルゲル法も可能である。必要であれば研磨層を所望の粗さに研磨する。例えば、イオンビーム加工 (IBM) 法によって、形状偏差の正確な適合を実現させる、任意の形状補正を行うことができる。

10

#### 【0038】

図 1 a に示す基板の第 1 変形例を、図 1 b に概略的に示している。この基板 1 は、矢印で示す表面 13 に平行な方向に、平均熱膨張係数の不均質な分布を有している。ここに示す例では、ゼロ交差温度は、表面 13 からの距離が増大するに従って、基板の表面 13 に平行な方向に減少する。これらの手段により、ゼロ交差温度の分布を動作条件下において予想される温度分布に適合させ、所望しない熱膨張を避ける。

#### 【0039】

図 1 c は、EUV リソグラフィ用ミラーの基板 1 のさらなる変形例を概略的に示したものである。基板 1 は  $3000\text{ cm}^3$  以上の体積を有しており、この場合、 $10\text{ cm}^3$  以下の任意の特定の部分的な体積 14 において平均されたゼロ交差温度は、各平均値に対して 2 未満変動する。また、図 1 c に示す基板 1 の変形例も、表面 13 からの距離が増大するに従って僅かに減少していく平均ゼロ交差温度を呈している。

20

#### 【0040】

図 2 は、研磨層 2 を有する基板 1 上に反射層 4 を備えるミラー 3 の例を概略的に示したものである。特に EUV リソグラフィ用ミラーの場合、反射層 4 は、複素屈折率の異なる実部を有する、交互に重なり合う材料層の複層システムで構成され、反射層上で格子面を有する結晶がシミュレートされ、格子面上でブラッグ回折が生じる。

#### 【0041】

図 3 に示す基板 1 の例示的实施形態では、研磨層および高反射層が塗布される基板 1 の表面に、EUV ミラーへのさらなる加工により、EUV リソグラフィ装置の EUV ビームで照射される表面よりも好適には僅かに大きな膨張を有する材料片 6 を挿入する。この材料片 6 は、周囲の基板材料 5 よりも高いゼロ交差温度を有している。こうすることによって、基板は、それが EUV ミラーとして使用されている間は均一に加熱されないが、特に EUV 放射が EUV ミラーに衝突する場所に熱が誘導されることが考えられる。そしてその他の領域はより少なく加熱される。ゼロ交差温度の分布を基板材料の熱分布に適合させることによって、基板の熱膨張を全体的に最小限に抑えることを保証することができる。従って、このような基板で製造される EUV ミラーの結像特性が受ける悪影響を、最小限に抑えることができる。

30

#### 【0042】

図 4 に示す基板 1 の実施形態において、第 1 材料片 7 は、基板 1 の表面全体に延在して設けられ、第 2 材料片 8 に隣接して配置されている。第 2 材料片もまた、基板 1 の表面全体に延在している。ここに示す例では、材料片 7 は材料片 8 よりも高いゼロ交差温度を有している。図 3 を参照して示す例示的实施形態のように、図 4 に示す例示的实施形態では、より高いゼロ交差温度を有する材料片 7 が、基板の、EUV ミラーへのさらなる加工によって反射層が塗布され、よって大きな熱負荷にさらされる側面に配置される。

40

#### 【0043】

また、基板 1 内の大きな温度差も考慮して、異なるゼロ交差温度を有する 3 つ以上の材料片に、基板をさらに分割してもよい。図 5 に示す例では、基板 1 を 3 つの材料片 10, 11, 12 にさらに分割しており、3 つ共全て基板の表面全体に延在している。ここに示

50

す例では、材料片 10 は高いゼロ交差温度を、材料片 11 は中間的なゼロ交差温度を、そして材料片 12 は低いゼロ交差温度を有しており、その中に材料片 10 が配置されている基板 1 に垂直な方向に、ゼロ交差温度が連続的に減少するようになっている。さらなる修正例では、材料片を表面全体に延在しないように提供してもよい。

#### 【0044】

図 4 に示す 2 つの材料片 7 と 8 とを有する基板の変形例において、特別な特徴は、熱が導入されると、基板 1 がバイメタルと同じ様に挙動するように構成されていることである。変形の程度は温度によって制御することができ、この場合、制御のために使用する温度範囲は、2 つの材料片 7, 8 のゼロ交差温度の差によって決定される。このバイメタル効果を最も有利に活用できるように、図 4 による実施形態では、光学的に使用される側面の反対側に加熱装置 9 を提供する。ここに示す例では、加熱装置 9 は複数の個々の加熱素子で構成されている。材料片 8 を局所的に加熱することによって、ミラーとして使用される基板の熱負荷による歪みを補償するだけでなく、例えば、非点収差歪みまたはコマ収差歪みを選択的に調整することも可能である。特に、加熱素子の温度が、EUV リソグラフィ動作中に導入される熱に応じて連続的に制御される場合には高精度を実現することができる。

#### 【0045】

図 4 に示す実施形態の温度挙動を、図 6 に例示的に示している。下部材料片 8 のゼロ交差温度は 22 であり、上部材料片 7 のゼロ交差温度は 24 である。材料片 7, 8 はどちらもリングングによって相互にしっかりと接合されている。結果は、中間の灰色の曲線で示す平均長手方向熱膨張である。温度が 18 から 20 へと上昇するに従い、材料片 8 の材料は 5 p p b 膨張し、上部材料片 7 の材料は 5 p p b 収縮する。ミラーの大きさと個々の材料片 7, 8 の厚さによって、これはミラーのナノメートル範囲の歪みとなって焦点距離の変化がもたらされる。

#### 【0046】

これまで記載してきた基板の全ての実施形態において、材料はチタンドープ石英ガラス、ガラスセラミック材料またはコーディエライトをベースにすることができる。時間の関数としての相対長手方向膨張の特徴的なプロファイルを、チタンドープ石英ガラス、ガラスセラミック材料およびコーディエライトに関して、図 7 に示している。例えば図 7 では、チタンドープ石英ガラスのゼロ交差温度は 24、ガラスセラミック材料のゼロ交差温度は 18、コーディエライトのゼロ交差温度は 21 である。チタンドープ石英ガラスおよびコーディエライトはどちらも、ゼロ交差温度以外の他の温度で長手方向膨張を示しており、一方でガラスセラミック材料は収縮挙動を呈している。しかしながら、勾配は、ガラスセラミック材料またはチタンドープ石英ガラスよりも、コーディエライトの方がはるかに険しくなっている。

#### 【0047】

これらの市販されている基板材料から、特にガラスセラミック材料、チタンドープ石英ガラスまたはコーディエライトをベースとした基板ベース材料を使用して、EUV ミラーとして使用するための要件に特に適した基板材料を生成することができる。例えば、ゼロ交差温度に対する通常の許容差で、チタンドープ石英ガラスを、周知の方法で安価に製造することができる。続いて材料ブランクのゼロ交差温度を、場所に依存する方法で測定する。チタンドープ石英ガラスの場合、例えば、ゼロ交差温度は主にチタンの含有量に依存し、チタン含有量は、例えば、X 線蛍光分析または間接的には固形物内の音速を測定することによって測定することができる。個々の材料サンプルのゼロ交差温度およびそれらの分布を測定した後、異なるゼロ交差温度を有するサンプルを選択して、混合後のゼロ交差温度の平均値が図 16 のステップ 201 に概略的に示すように、各基板の所望のゼロ交差温度に対応するようにする。続いて、個々の材料サンプルを混合して、所望するゼロ交差温度を有する均質なボディを生成する。これは、例えば、材料サンプルをつき砕き、またはすり潰しによって小粒子状にし、次いで焼結することによって行う。好適には、小粒子を熱い状態、従って低粘性状態に混ぜ合わせて（図 16 のステップ 203 参照）、それら

を特に均質に混合する。続いて、例えば、基板を最終形状に切削、研磨し、研磨層などで被覆して表面処理を施す（図16のステップ205）。

#### 【0048】

2つ以上のチタンドープ石英ガラスを混ぜ合わせると、第1近似においてそれらは同じ勾配の長手方向熱膨張を有し、チタンドープ石英ガラスの場合は約  $1.6 \text{ ppb/K}^2$  である。図8では、2つの基材、すなわち第1材料および第2材料に関する相対長手方向熱膨張の一次導関数を  $\text{ppb/K}$  で示している。チタンドープ石英ガラス材料1のゼロ交差温度は27で、チタンドープ石英ガラス材料2のゼロ交差温度は33である。これら2つの材料は、1:1の割合で完全に混合、溶解されたものである。結果的に生じる複合材料は、ゼロ交差温度が30のチタンドープ石英ガラスであり、これも体積全体にわたって均質性の高いゼロ交差温度を有している。

10

#### 【0049】

しかしながら、所望の平均ゼロ交差温度が極めて不均質な材料がすでに存在する場合には、EUVミラーの基板材料として使用するために、この材料を潰してもよい（図15のステップ101参照）。潰す程度は、特に、所望される均質性の度合いによって決定する。例えば、すり潰された、またはつき砕かれた材料を溶解または焼結によって、混合、接合する（図15のステップ103）。続いて基板に表面処理を施してもよい（図15のステップ105）。ガラスセラミック材料またはコーディエライト、ならびにチタンドープ石英ガラスが適している。特に、少なくとも  $3000 \text{ cm}^3$  の体積を持つ基板を生成することができ、この基板において、 $10 \text{ cm}^3$  以下の任意の特定の部分的な体積において平均されたゼロ交差温度は2未満変動する。

20

#### 【0050】

本方法のさらなる展開において、正確に調整されたゼロ交差温度を有する基板材料ばかりでなく、特に、温度の関数として、長手方向熱膨張の極めて平坦なプロファイルを有する基板も生成することができる。このためには、低熱膨張係数と、熱膨張係数の逆の勾配とを有する、少なくとも一つの第1材料および少なくとも一つの第2材料を選択する。これには、片方にはチタンドープ石英ガラス、そしてもう片方にはガラスセラミック材料が特に適している（図17のステップ301参照）。これらの少なくとも2つの材料を、例えば粉碎によって潰し、そして混合する。続いてこれらを焼結し（図17のステップ303）、この場合、添加するガラスセラミック粒子の要件に焼結工程を適用する、というの

30

#### 【0051】

片方はゼロ交差温度の範囲で膨張を呈し、もう片方は収縮を呈する2つの材料を選択することにより、複合材料を生成することができ、該複合材料において、これらの2つの相反する作用は相互に部分的に打ち消され、EUVリソグラフィ用ミラーの基板を生成することができ、該基板は、15の温度差  $T$  で  $10 \text{ ppb}$  以下の平均相対長手方向熱膨張を有している。材料混合物をさらに最適化することによって、基板から生成されるEUVミラーへの要求に応じて、30の温度差  $T$  で  $10 \text{ ppb}$  以下の長手方向熱膨張および、15の温度差  $T$  で  $5 \text{ ppb}$  以下の長手方向熱膨張を有する基板までも生成することができる。これらの手段によって、例えば、ゼロ交差温度に過度な差異のない材料、好適には該差異が2以下の材料、そして特に好適には、ゼロ交差温度の等しい材料を選択することにより、長手方向熱膨張を広い温度範囲においてさらに低減することができる。その代わりとして、またはそれに加えて、選択する材料の混合比率を選択する際に、熱膨張係数の勾配の異なる値を考慮してもよい。

40

#### 【0052】

例えば、ガラスセラミック材料は、そのゼロ交差温度の周囲の温度において、温度の関数として約  $-1.7 \text{ ppb/K}^2$  の相対熱膨張の勾配を有し、一方で、チタンドープ石英ガラスの場合、それは約  $+1.6 \text{ ppb/K}^2$  であることが知られている。同じゼロ交差温度を有するチタンドープ石英ガラスおよびガラスセラミック材料を選択して、1:1の

50

割合で混合する場合、大きな温度範囲にわたって相対熱膨張がほぼゼロの複合材料が得られる。温度の関数として相対熱膨張における勾配の線形挙動からの逸脱のみが有効であり、材料の長さは大きな温度範囲にわたって変化しない。線形挙動からの逸脱は、混合割合を決定する際に、勾配の値を考慮することによってさらに低減することができる。

#### 【0053】

図9は、ゼロ交差温度が31のチタンドープ石英ガラスと、ゼロ交差温度が31のガラスセラミック材料とを、チタンドープ石英ガラス100重量部がガラスセラミック材料95重量部と結合するように混合した、複合材料の例を示している。チタンドープ石英ガラスの長手方向熱膨張が10～40の温度範囲にわたって576ppb、そしてガラスセラミック材料が612.4ppbであるのに対して、複合材料の長手方向熱膨張はほんの5.4ppbである。20～35の温度範囲において、チタンドープ石英ガラスの相対熱膨張は168ppb、ガラスセラミック材料は232.9ppb、複合材料はほんの1.575ppbである。

#### 【0054】

ガラスセラミック材料の特性は制御されていない加熱によって破壊されることがあるので、ガラスセラミック材料とチタンドープ石英ガラスとから作られた材料は、好適には、温度曲線、具体的には冷却曲線が、ガラスセラミックの製造工程に対応するように焼結する。より大きな個々の材料を使用して基板を構成することができる場合、個々の材料片を、接触後、切り取り、研磨して僅かに加熱してもよいし、またはアルカリ溶液を用いて接触面を処理し、個々の材料片が相互にしっかりと接合するようにしてもよい。続いて、基板を最終形状にして、研磨層を塗布し、これを表面の粗さができるだけ小さくなるように研磨して、EUVミラーへのさらなる加工において、例えば複層システムなどの反射層を設ける。

#### 【0055】

個々の材料片の許容可能な膨張は、基板がさらされる最小および最大温度、結果的に生じる長手方向熱膨張および許容可能な粗さなどの構成条件を考慮して推定することができる。使用温度範囲を10Kとすると、これは、22での未処理状態および動作温度32に相当する。また、この温度範囲において相対熱膨張100ppbに到達し、表面変形50pmが依然として許容可能であるとすると、第1近似において、最大許容粒径は、許容表面変形50pmと、相対長手方向熱膨張100ppbとの商として、0.5mmと推定される。この場合、材料をつき砕く、またはさらにすり潰して、その後に焼結する。

#### 【0056】

また、3つ、4つまたはそれ以上の材料を混合して、EUVリソグラフィ用ミラーの基板として適した基板を生成することも可能である。

#### 【0057】

材料ブランク内において不均質なゼロ交差温度の影響を低減させるさらなる手法を、図10～図14を参照して示す。この手法は、ゼロ交差温度の本質的に周期的な分布を有する材料ブランクに特に適したものである。これは例えば、直接蒸着法でコスト効率良く製造することのできる、チタンドープ石英ガラスと同じである。具体的には、結果的に生じる材料ブランクが、蒸着工程中に、蒸着装置に対して回転する場合に適用可能である。いわゆるブル(boule)が形成され、これは第1近似において円筒状の形状を有しており、この場合、第1近似においてゼロ交差温度分布は放射相称を有すると考えられる。

#### 【0058】

図10は、ブル状のチタンドープ石英ガラスの内部におけるゼロ交差温度分布の例を示している。実証のために、蒸着中の、半径x方向および回転軸に平行なz方向の断面図を示している。寸法はインチで示している。ブルの中心点は図9の左側にある。ゼロ交差温度の分布は、ブルの中心からほんの6インチの距離で始まる超音波によって測定した。ブルの厚さは5.5インチを僅かに上回り、約5.5インチのところに位置する層が最初に蒸着され、0.25インチのところに位置する層が最後に蒸着される。測定したゼロ交差温度分布を等高線グラフで示している。値は個々のフレーム領域の間で約2変

10

20

30

40

50

化し、これは約 8 の全体的な温度差に対応する。特に低いゼロ交差温度範囲を黒の細い点線で示している。中くらいの温度範囲を灰色で示し、特に高い温度のいくつかの領域を、 $x = 10$  インチおよび  $z = 4$  インチの領域のように、明るい灰色で示している。

#### 【0059】

ゼロ交差温度の分布は、第 1 近似において周期的な波形を有し、この場合、周期は約 4 ~ 5 インチである。従来、スライスは材料の損失を抑えるために、実際のゼロ交差温度の分布を考慮せずに切り取っていたが、本明細書では、ゼロ交差温度分布の周期が基板の表面においてできるだけ大きくなるように、ブランク内でミラー表面の配向の選択を行うことを提案する。第 2 境界条件として、有利には、所望の平均ゼロ交差温度を考慮して、基板表面を谷、丘またはその間のどれに沿って選択するのかを決定する。さらに表面は、ゼロ交差温度が使用するミラー表面の深さが深くなるにつれて、表面のゼロ交差温度に対してどんどん減少するように選択することもできる。

10

#### 【0060】

図 11 は、本図において矩形で示す基板が、材料ブランクからどのように切り取られるかを示している。基板は、ゼロ交差温度の分布の周期長さが、表面に垂直な方向よりも表面 0 の方が大きくなるように配向されている。表面に垂直な方向、すなわち熱導入の方向において、分布の極小値および極大値は、互いに短距離にあり、これによってミラー表面の変形が部分的に補償され、よって最小限に抑えることができる。同時に、ミラー表面の面の変形は、極小値と極大値の長い横方向の距離によって可能な限り大きくすることができ、従って不均質な熱膨張によって長波調整誤差が生じる。しかしながら、これらは適切なマニピュレータによって簡単に補正することができる。

20

#### 【0061】

材料ブランクの大きさと、結果的に生じる基板の所望の大きさとに応じて、基板を材料ブランクから個々に切り取られた複数の材料片で構成することもできる。このような基板の例を図 12 a、12 b に示す。本図に示す例では、矩形 R1、R2、R3 として示す 3 つの材料片は全て、個々の表面の面の周期長さが、それらのそれぞれの表面に垂直な方向の周期長さよりも長くなるように切り取られている。このように、矩形 R1、R2、R3 (図 12 b 参照) で構成される基板も、可能な限り小さな長手方向熱膨張に関する好ましい条件を満たしている。

#### 【0062】

すでに存在するゼロ交差温度の分布および所望する基板の寸法によっては、表面の面の周期長さが、切り取られた基板の表面に垂直な方向の周期長さよりも長くなるように基板を実際に切り取る前に、材料ブランクを変形させることによって、分布に影響を与える可能性がある。図 13 a および図 13 b に示す例では、材料ブランクを先ず  $x$  方向に剪断する。こうすることによって図 13 b に示すゼロ交差分布となり、次にこれから基板を点線に沿って切り取る。結果的に生じる基板表面の周期長さは剪断工程によって増大し、同時に、表面に垂直な方向の周期長さは、初期の材料ブランク (図 13 a) と比較して短くなる。

30

#### 【0063】

基板を、材料ブランクにおいて特に短い周期長さを持つゼロ交差温度の分布を有する材料ブランクから、基板の表面の面の周期長さができるだけ小さくなるように切り取ってもよい。この場合、ミラー表面の面において極めて短い距離で、異なる膨張挙動を有する表面に近い領域が相互に効果的に補償することを利用することができる。

40

#### 【0064】

具体的に周期的なゼロ交差温度分布を有する基板材料を使って熱膨張の悪影響を回避するさらなる手法を、図 14 に示す。本図において、基板材料は A1、A2、A3 のセクションに分けられており、これら A1、A2、A3 のセクションは、A1、A2 のそれぞれのセクションが、それぞれ下にあるセクション A2、A3 に対して、周期長さの半分オフセットするように、相互にオフセットしている。こうすることにより、基板の表面の面の周期をできるだけ大きく保ちながら、表面に垂直な周期を大幅に短くして、相互に異なる

50

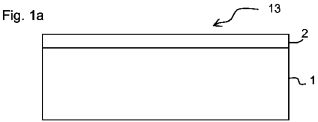
ゼロ交差温度を有する個々の領域のより良い補償を実現することができる。ここに示す例では3つのセクションを使用しているが、2つのセクションでも効果はすでに実現されており、また、4つ、5つ、6つまたはそれ以上のセクションを使ってさらに最適化することもできる。

【符号の説明】

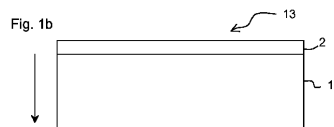
【0065】

1	基板	
2	被覆層	
3	ミラー	
4	反射層	10
5	材料片	
6	材料片	
7	材料片	
8	材料片	
9	加熱装置	
10	材料片	
11	材料片	
12	材料片	
13	表面	
14	部分的体積	20
101 ~ 105	方法のステップ	
201 ~ 205	方法のステップ	
301 ~ 305	方法のステップ	
O	表面	
R1、R2、R3	セクション	
A1、A2、A3	セクション	

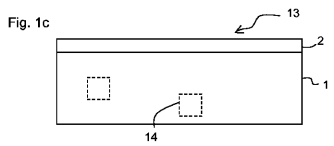
【図 1 a】



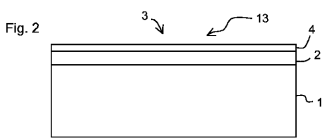
【図 1 b】



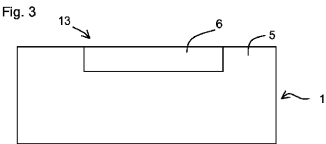
【図 1 c】



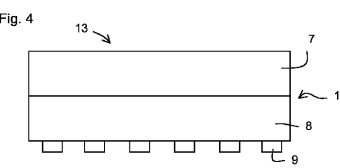
【図 2】



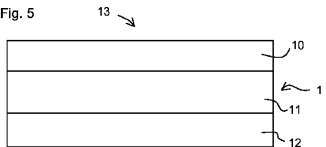
【図 3】



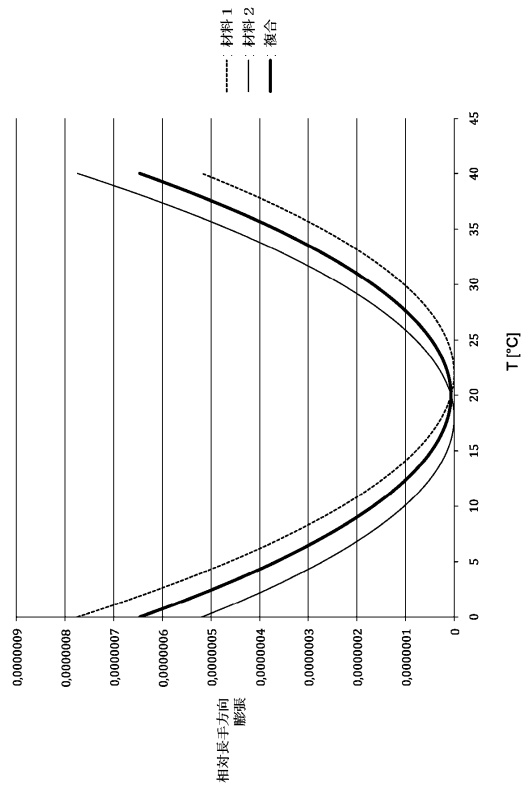
【図 4】



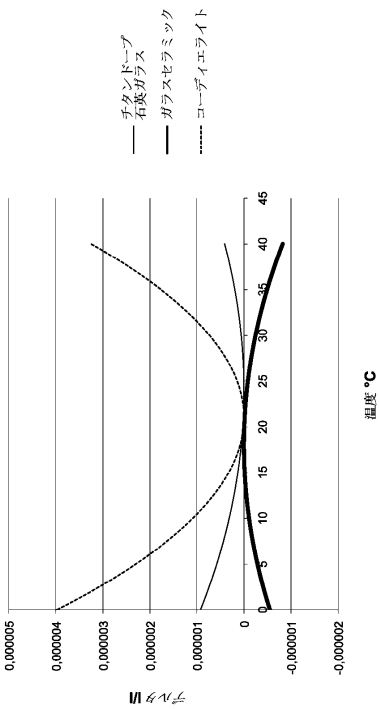
【図 5】



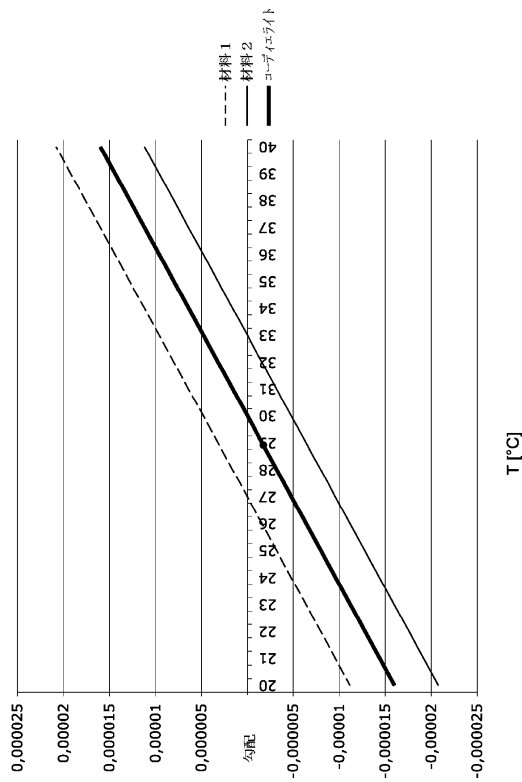
【図 6】



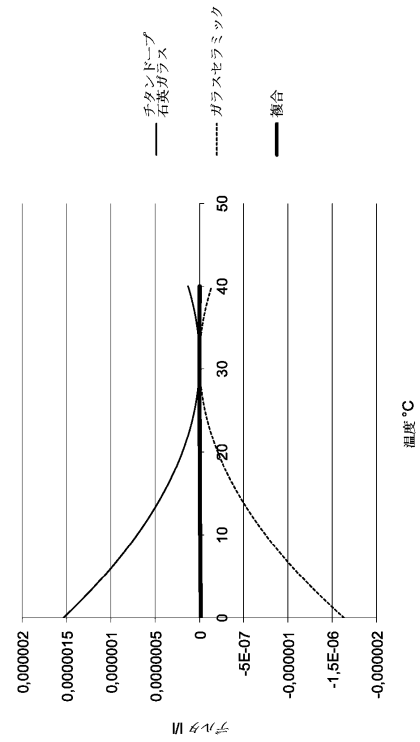
【図 7】



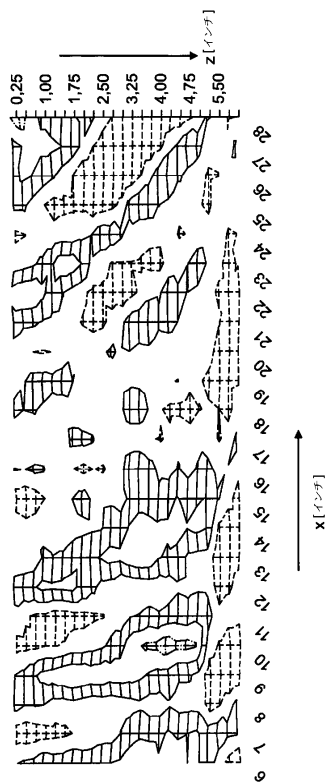
【図 8】



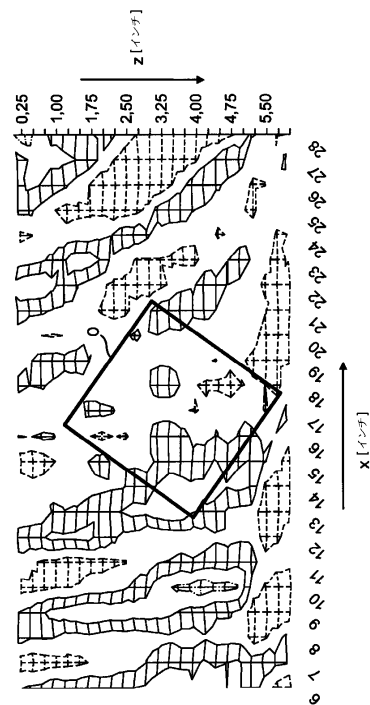
【図 9】



【図 10】

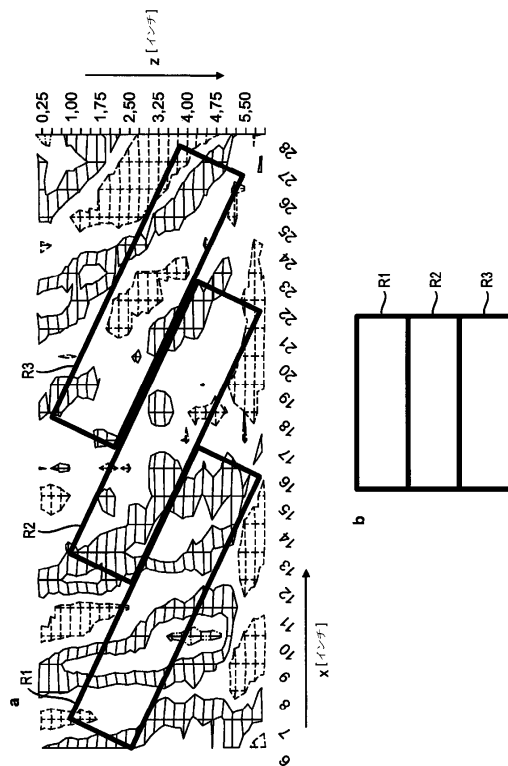


【図 11】

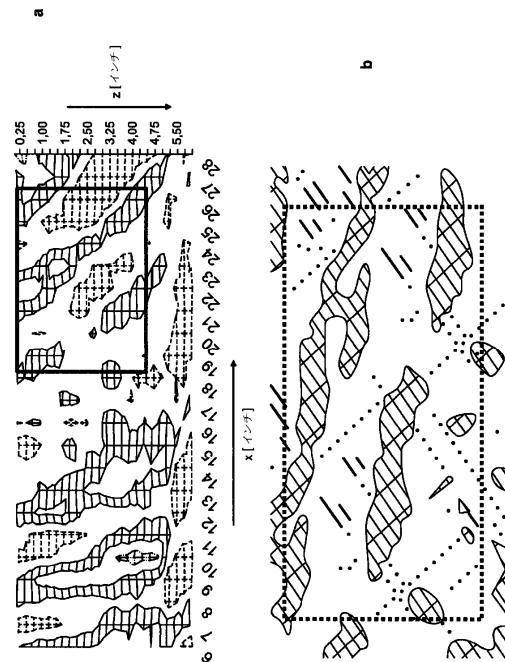




【図 12】



【図 13】



【図 14】

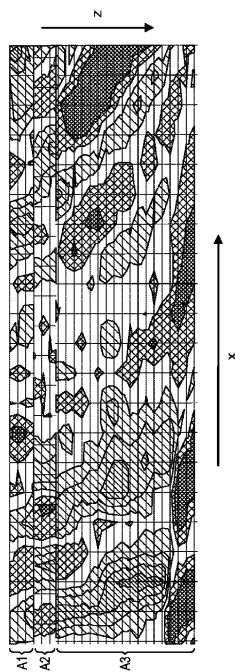
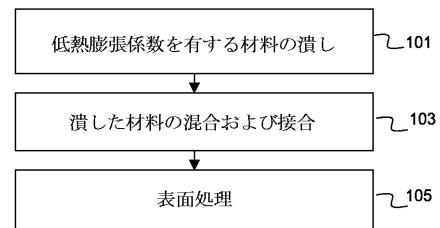
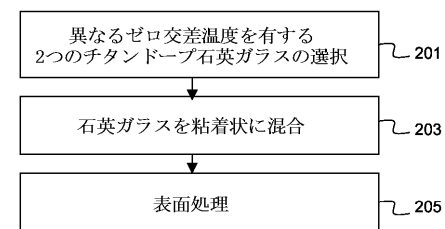


Fig. 14

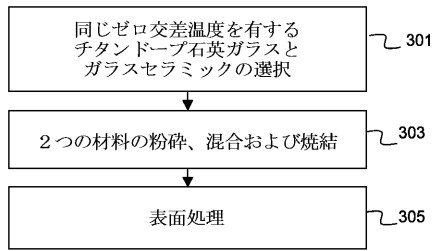
【図 15】



【図 16】



【図 17】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ヴィルフリード クラウス  
ドイツ国 7 2 0 7 4 ツュービンゲン ルストナウアーシュトラッセ 3 9  
(72)発明者 ミカエル ゲルハルト  
ドイツ国 7 3 4 3 2 アーレン トッゲンブルガーestraッセ 1 5

審査官 赤尾 隼人

- (56)参考文献 特開2005-231994(JP,A)  
国際公開第2009/070223(WO,A1)  
特開2005-194118(JP,A)  
特開2005-104820(JP,A)  
国際公開第2009/107858(WO,A1)  
特開2010-064950(JP,A)  
特開2003-267789(JP,A)  
特表2005-507353(JP,A)  
特開2011-151386(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027  
G03F 1/00-1/86; 7/20  
C03C 1/00-14/00  
C03B 1/00-5/44; 8/00-8/04;  
19/12-20/00