

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4421604号
(P4421604)

(45) 発行日 平成22年2月24日 (2010. 2. 24)

(24) 登録日 平成21年12月11日 (2009. 12. 11)

(51) Int. Cl.

F I

G O 2 B 1/11 (2006. 01)

G O 2 B 1/10 A

H O 1 L 21/027 (2006. 01)

H O 1 L 21/30 5 1 5 D

G O 2 B 13/00 (2006. 01)

G O 2 B 13/00

請求項の数 23 外国語出願 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2006-327397 (P2006-327397)
 (22) 出願日 平成18年12月4日 (2006. 12. 4)
 (65) 公開番号 特開2007-156485 (P2007-156485A)
 (43) 公開日 平成19年6月21日 (2007. 6. 21)
 審査請求日 平成21年4月3日 (2009. 4. 3)
 (31) 優先権主張番号 60/741605
 (32) 優先日 平成17年12月2日 (2005. 12. 2)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 503263355
 カール・ツァイス・エスエムティー・アー
 ゲー
 ドイツ連邦共和国、7 3 4 4 7 オベルコ
 ッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
 セ 2
 (74) 代理人 100147485
 弁理士 杉村 憲司
 (74) 代理人 100134005
 弁理士 澤田 達也
 (74) 代理人 100119530
 弁理士 富田 和幸
 (74) 代理人 100147692
 弁理士 下地 健一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学系、特に、マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明装置又は投影対物レンズ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

作動波長が 2 5 0 n m よりも短いマイクロリソグラフィ投影露光装置に用いられる光学系において、

少なくとも 1 つの光学要素を有しており、該光学要素は、少なくとも 1 つの湾曲レンズ表面を有しており、該湾曲レンズ表面は、干渉層系を有しており、該干渉層系は、各層が交互に代わるシーケンスを有しており、

前記各層の少なくとも 1 つは、構造的複屈折を有するとともに、少なくとも 1 つの中間層によって細分されており、該中間層は、5 ナノメートルより大きくない厚みを有しており、前記少なくとも 1 つの細分された層内に形成されている前記構造的複屈折を生じさせる円柱構造は、前記少なくとも 1 つの中間層によって中断されていることを特徴とする光学系。

【請求項 2】

構造的複屈折によって生起される前記干渉層系内でのリターデーションが、前記中間層を有していない類似の干渉層系に比較して、中間層に起因して低減される請求項 1 記載の光学系。

【請求項 3】

前記少なくとも 1 つの中間層は、前記細分された層の厚みよりも少なくとも 1 0 分の 1 より小さい厚みを有している請求項 1 又は 2 に記載の光学系。

【請求項 4】

10

20

前記少なくとも 1 つの中間層は、2 nm よりも大きくない光学厚みを有している請求項 1 から 3 迄の何れか 1 項に記載の光学系。

【請求項 5】

前記少なくとも 1 つの中間層は、前記作動波長の厚みの 0.05 倍より小さい光学厚みを有している請求項 1 から 4 迄の何れか 1 項に記載の光学系。

【請求項 6】

前記湾曲レンズ表面は、当該湾曲レンズ表面の、少なくとも 20° の光学活性レンズ表面の最大接線角度 (tangent angle) を有しており、前記接線角度は、前記光学活性レンズ表面上の各位置に対して、当該位置での前記レンズ表面に対する接線と、湾曲レンズ表面の頂点でのレンズ表面に対する接線との間の角度として定義される請求項 1 から 5 迄の何れか 1 項に記載の光学系。

10

【請求項 7】

前記中間層を含む前記干渉層の全ての層は、前記レンズ表面上に斜めに堆積されている請求項 1 から 6 迄の何れか 1 項に記載の光学系。

【請求項 8】

前記中間層は、MgF₂、ErF₃、AlF₃、チオリス(chiolith)(Na₅Al₃F₁₄)、クリオリス(kryolith)(Na₃AlF₆)、DyF₃、及びSiO₂を含むグループから選択された材料から形成されている請求項 1 から 7 迄の何れか 1 項に記載の光学系。

【請求項 9】

前記干渉層系は、第 1 の材料製の第 1 の層と、第 2 の材料製の第 2 の層とが交互に形成されたシーケンスを有しており、前記第 1 の材料は、作動波長で、水晶ガラス(SiO₂)の屈折率よりも小さな屈折率を有しており、前記第 2 の材料は、前記作動波長で、前記水晶ガラス(SiO₂)の屈折率よりも大きな屈折率を有している請求項 1 から 8 迄の何れか 1 項に記載の光学系。

20

【請求項 10】

前記干渉層系は、前記光学系によって予め決められた最大入射角迄の角度範囲内で、光学面上に入射する、所定の作動波長の光に対して、相互に直交する偏光状態で異なった境界面透過率によって、干渉層系内に生じる第 1 のリターデーション分布は、構造的複屈折によって前記干渉層系内に生じる第 2 のリターデーション分布によってほぼ補償される請求項 1 から 9 迄の何れか 1 項に記載の光学系。

30

【請求項 11】

構造的複屈折によって前記干渉層系内に生じる前記第 2 のリターデーション分布は、前記光学系によって予め決定された最大入射角迄の角度範囲内で、光学面上に入射する、所定の作動波長の光で、干渉層系によって生じる、直交する各偏光状態間での位相差が、±5°の最大値を超過しない請求項 10 に記載の光学系。

【請求項 12】

前記光学系によって予め決められる最大入射角度は、少なくとも 45°である請求項 1 から 11 迄の何れか 1 項に記載の光学系。

【請求項 13】

前記干渉層系の少なくとも 1 つの層は、層材料から形成された多数の円柱から形成された円柱構造体を有しており、前記各円柱は、各円柱軸を有しており、且つ、前記各円柱間に複数の孔を有しており、前記各円柱軸と光学面の面法線方向との間で測定された円柱の傾斜角度は、前記第 2 のリターデーション分布を生じる構造的複屈折を調整するために、光学面に亘って変えられる請求項 1 から 12 迄の何れか 1 項に記載の光学系。

40

【請求項 14】

前記干渉層系の少なくとも 1 つの層は、厚みを変えて構成できる、請求項 1 から 13 迄の何れか 1 項に記載の光学系。

【請求項 15】

前記干渉層系の少なくとも 1 つの層は、前記層の最大厚みの 20% よりも大きくない範囲内で厚みを変えて構成できる、請求項 14 に記載の光学系。

50

【請求項 1 6】

前記干渉層系は、反射防止コーティングである請求項 1 から 1 5 迄の何れか 1 項に記載の光学系。

【請求項 1 7】

前記光学要素は、作動波長の光に対して透過性である光学要素である請求項 1 から 1 6 迄の何れか 1 項に記載の光学系。

【請求項 1 8】

作動波長が 2 5 0 n m よりも短いマイクロリソグラフィ投影露光装置に用いられる光学要素において、

該光学要素は、少なくとも 1 つの湾曲レンズ表面を有しており、該湾曲レンズ表面は、干渉層系を有しており、該干渉層系は、各層が交互に代わるシーケンスを有しており、

前記各層の少なくとも 1 つは、構造的複屈折を有するとともに、少なくとも 1 つの中間層によって細分されており、該中間層は、5 ナノメートルより大きくない厚みを有しており、前記少なくとも 1 つの細分された層内に形成されている前記構造的複屈折を生じさせる円柱構造は、前記少なくとも 1 つの中間層によって中断されていることを特徴とする光学要素。

【請求項 1 9】

構造的複屈折によって生起される前記干渉層系内でのリターデーションが、中間層を有していない類似の干渉層系に比較して、前記中間層により低減される請求項 1 8 に記載の光学要素。

【請求項 2 0】

請求項 1 から 1 7 迄の何れか 1 項に記載の光学系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 2 1】

マイクロ構造化コンポーネントのマイクロリソグラフィによる製造方法において、

感光性材料製の少なくとも 1 つの層が形成される基板を設け、

イメージが投影されるべき構造を有するマスクを設け、

請求項 2 0 記載の投影露光装置を設け、

前記投影露光装置を用いて、感光層の領域上に、前記マスクの少なくとも一部分を投影することを特徴とする製造方法。

【請求項 2 2】

前記光学系は、マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明装置または投影対物レンズである請求項 1 から 1 7 に記載の光学系。

【請求項 2 3】

請求項 1 8 又は 1 9 に記載の光学要素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。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、光学系、特に、マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明装置又は投影対物レンズ、光学要素、マイクロリソグラフィ投影露光装置、マイクロ構造化コンポーネントのマイクロリソグラフィによる製造方法、マイクロ構造化コンポーネントに関する。

【背景技術】**【0 0 0 2】**

マイクロリソグラフィは、例えば、集積回路又は液晶ディスプレイ (LCD) のような超小型構造化コンポーネントの製造用に使用される。マイクロリソグラフィプロセスは、照明光学系及び投影対物レンズを有する所謂投影露光装置 (projection exposure apparatus) で実行される。照明光学系を用いて照明されるマスク (レチクル) のイメージは、投影対物レンズを用いて基板 (例えば、シリコンウエーハ) 上に投影され、基板は、マスク構造を基板の感光性コーティングに転送するために、感光性コーティング層 (例えば、フ

10

20

30

40

50

ォトレジスト)でコーティングされ、且つ、投影対物レンズのイメージ面内にセットアップされる。

【0003】

マイクロリソグラフィプロセスで使われる光の偏光状態の不希望な変化を回避するのに役立つ、種々の技術思想が知られている。そのような変化は、照明装置内にも投影対物レンズ内にも、例えば、使用されている光学要素の固有の複屈折、又は、ストレスにより誘導される複屈折に起因して、又は、例えば、リターデーションを伴う反射コンポーネントでの位相跳躍に起因して生起することがある。本願明細書で使われている用語「リターデーション(retardation)」は、偏光の、2つの直交方向での各状態の各光路長間の差の意味である。

10

【0004】

特に、世界知的所有権機関特許第03/077007号に開示された技術思想によると、特に、フッ化物クリスタル製の対物レンズを、例えば、有効複屈折値分布を場所毎に変化させて、それにより、例えば、対物レンズ全体を、当該対物レンズ全体の光学的な偏向特性、即ち、対物レンズ全体での各光路差の分布に関して調整することができるための補償用コーティング剤でコーティングされている複数のクリスタルレンズを有する対物レンズでの少なくとも1つの光学面(例えば、交換可能な光学要素)を、補償用コーティング剤なしで形成される分布に比較して低減することができ、又は、それにより、コーティング剤を有する基板、例えば、フッ化物クリスタル製のレンズでの固有の複屈折を補償することができる。世界知的所有権機関特許第03/077007号の全体の開示内容は、本願明細書が前提とするものである(特許文献1参照)。

20

【0005】

更に、複数の個別複屈折層を有する偏光装置は、特に、米国特許第6072629号明細書に開示されている。基板上に交互に堆積される各層を有する斜め堆積された薄膜要素については、米国特許第5932354号明細書に開示されている(特許文献2及び特許文献3参照)。

【特許文献1】世界知的所有権機関特許第03/077007号(A2)

【特許文献2】米国特許第6072629号明細書

【特許文献3】米国特許第5932354号明細書

【発明の開示】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明の課題は、例えば、反射防止層のような、光学系内の干渉層の結果として生起する偏光状態の不希望な変化を低減又は回避するように、光学系、特に、マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明装置又は投影対物レンズを改善することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明によると、この課題は、光学系、特に、マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明装置又は投影対物レンズにおいて：

少なくとも1つの光学要素を有しており、該光学要素は、少なくとも1つの湾曲レンズ表面を有しており、該湾曲レンズ表面は、干渉層系を有しており、干渉層系は、各層の交互に代わるシーケンスを有しており、各層の少なくとも1つは、少なくとも1つの中間層によって細分されており、該中間層は、5ナノメートルより大きくない厚みを有しており、少なくとも1つの、細分された層内に形成されている円柱構造は、少なくとも1つの中間層によって中断されていることにより解決される。

40

【発明の効果】

【0008】

干渉層系の少なくとも1つの層を細分し、それにより、細分された層内に形成される円柱構造部を中断する、少なくとも1つの中間層を設けることによって、干渉層系内での構造的複屈折を簡単且つ制御可能なやり方で低減することができる。この技術思想を用いる

50

ことによって、特に、干渉層系によって生起する位相差全体を最小値に調節し、その結果、光学要素が偏光に関してほぼ中性に挙動することができる。一方では、光学系、例えば、マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明装置又は投影対物レンズ内の別の場所で形成されることがあるリターデーションを補償するために、少なくとも1つの中間層を用いて、干渉層系によって生起する有効複屈折の所望又は所定の分布を形成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

有利な実施例によると、構造的複屈折によって生起される干渉層系内でのリターデーションが、中間層を有していない類似の干渉層系に比較して、少なくとも1つの中間層により低減される。

10

【0010】

本願明細書で言うところの、「類似の」干渉層系（少なくとも1つの中間層を含まない）とは、単数乃至複数の中間層を考慮しない場合に、各層の交互シーケンスが、材料、厚み、及び、各層の順序に関して、単数乃至複数の中間層を有する干渉層系と同じであるような干渉層系のことである。

【0011】

つまり、少なくとも1つの中間層を含まない類似の干渉層系は、干渉層系内で単数乃至複数の中間層によって細分された層が、類似の干渉層系内で細分されていない限りで、単数乃至複数の基準干渉層系とは異なっている。

【0012】

20

有利には、構造的複屈折は、少なくとも1つの中間層に起因して、中間層を含まない類似の干渉層系に比較して、少なくとも20%だけ、一層有利には、少なくとも40%だけ、更に一層有利には、少なくとも50%だけ（位相差の最大形成値と呼ばれる）低減される。

【0013】

用語「構造的複屈折(form birefringence)」は、典型的には、図1に略示されているように、中間に孔を有する、各層の材料を含む複数の円柱部からなる成長層系内に形成された層構造に起因して、2つの異なった屈折率が生じていることを示す。

【0014】

構造的複屈折の大きさは、この場合、蒸着角度 によって決定される各円柱の傾斜角度 に依存する。

30

【0015】

構造的複屈折の原因である1つの効果は、斜め堆積層系内では、円柱構造部が、蒸気の入射面に対する法線方向（即ち、垂直方向）の堆積系の場合に較べて、当該法線方向の場堆積系の合程密に、蒸気入射面内で間隔を開けられていないことにある。

【0016】

それ以外の幾何的な効果について、以下説明する：

説明を簡単にするために、円柱の成長方向での一方の屈折率と、各垂直方向での他方の屈折率は、以下の関係に従って定義することができる：

$$n_{\parallel}^2 = n_{\perp}^2 \quad (1)$$

40

$$= n_1^2 \cdot \cos^2 \theta / (n_3^2 \cdot \cos^2 \theta + n_1^2 \cdot \sin^2 \theta) \quad (2)$$

その際、 n_{\parallel} は、蒸着面に対して垂直方向の誘電率を示し、 n_{\perp} は、蒸着面に対して平行方向の誘電率を示し、非導電性、非磁性材料の場合、 $n_i = n_i^2$ である。

【0017】

比較的薄い1つ以上の層を挿入するという発明性のある技術思想によって、干渉層系の各層内での円柱の成長を中断することができ、円柱の整列を妨げることができる。その手段が講じられると、典型的にはかなり薄い厚みの、1つ以上の中間層が、層系の各層の交互シーケンス内に形成される。これは、構造的複屈折の変調の程度を変えることができ、その際、蒸着装置の幾何形状、層厚、又は、温度を変える必要はないという利点を有している。

50

【0018】

有利な実施例によると、少なくとも1つの中間層は、細分された層の厚みよりも少なくとも10倍小さな厚みを有しており、更に有利には、細分された層の厚みよりも少なくとも15倍小さな厚みを有しており、更に一層有利には、細分された層の厚みよりも少なくとも20倍小さな厚みを有している。

【0019】

有利な実施例によると、少なくとも1つの中間層は、2nmよりも大きくない光学厚み、有利には、0.5nm~2nmの範囲内の光学厚みを有している。

【0020】

有利な実施例によると、少なくとも1つの中間層は、作動波長の厚みの0.05倍より小さい光学厚みを有している。

10

【0021】

有利な実施例によると、湾曲レンズ表面は、当該湾曲レンズ表面の、少なくとも20°の光学活性レンズ表面の最大接線角度を有しており、有利には、少なくとも30°、更に有利には、少なくとも45°の最大接線角度を有しており、接線角度は、光学活性レンズ表面上の各位置に対して、当該位置でのレンズ表面に対する接線と、湾曲レンズ表面の頂点でのレンズ表面に対する接線との間の角度として定義される。

【0022】

有利な実施例によると、中間層を含む干渉層の全ての層は、レンズ表面上に斜めに堆積されている。

20

【0023】

有利な実施例によると、中間層は、 MgF_2 、 ErF_3 、 AlF_3 、チオリス(chiolith) ($Na_5Al_3F_{14}$)、クリオリス(kryolith) (Na_3AlF_6)、 DyF_3 、及び SiO_2 を含むグループから選択された材料から形成されている。

【0024】

有利な実施例によると、干渉層系は、第1の材料製の第1の層と、第2の材料製の第2の層とが交互に形成されたシーケンスを有しており、第1の材料は、作動波長で、水晶ガラス(SiO_2)の屈折率よりも小さな屈折率を有しており、第2の材料は、作動波長で、水晶ガラス(SiO_2)の屈折率よりも大きな屈折率を有している。

【0025】

30

有利な実施例によると、干渉層系は、光学系によって予め決められた最大入射角迄の角度範囲内で、光学面上に入射する、所定の作動波長の光に対して、相互に直交する偏光状態で異なった境界面透過率によって、干渉層系内に生じる第1のリターデーション分布は、構造的複屈折によって干渉層系内に生じる第2のリターデーション分布によってほぼ補償される。

【0026】

有利な実施例によると、構造的複屈折によって干渉層系内に生じる第2のリターデーション分布は、光学系によって予め決定された最大入射角迄の角度範囲内で、光学面上に入射する、所定の作動波長の光で、干渉層系によって生じた、直交する各偏光状態間での全有効位相差が、 $\pm 5^\circ$ の最大値、有利には、 $\pm 3^\circ$ の最大値を超過せず、更に有利には、 $\pm 2^\circ$ を超過しない。

40

【0027】

有利な実施例によると、干渉層系の少なくとも1つの層は、層材料から形成された多数の円柱から形成された円柱構造体を有しており、各円柱は、円柱軸を有しており、且つ、各円柱間に複数の孔を有しており、各円柱軸と光学面の面法線方向との間で測定された円柱傾斜角度は、リターデーションの第2の分布を生じる構造的複屈折を調整するために、光学面に亘って変えられる。

【0028】

有利な実施例によると、少なくとも1つの干渉層系が可変の厚みを有している。

【0029】

50

有利な実施例によると、厚みは、層の最大厚みの20%よりも多くない範囲内で変化する。

【0030】

有利な実施例によると、干渉層系は、反射防止コーティングである。

【0031】

有利な実施例によると、光学要素は、作動波長の光に対して透過性である光学要素である。

【0032】

有利な実施例によると、作動波長は、250nmよりも短く、有利には、200nmよりも短く、もっと有利には、160nmよりも短い。

10

【0033】

別の観点によると、本発明は、光学系、特に、マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明装置又は投影対物レンズに関しており、その際、光学系は、少なくとも1つの光学要素を有しており、該光学要素は、少なくとも1つの光学面上に干渉層系を有しており、その際、光学系によって予め決められた入射の最大角度迄の角度範囲内で、光学面に入射する所定の作動波長の光に対して、相互に直交する2つの偏光状態での異なった境界面透過率によって、干渉層系内に生起するリターデーションの第1の分布が、構造的複屈折によって干渉層系内に生起するリターデーションの第2の分布によってほぼ補償されるように、干渉層系は構成されている。

【0034】

20

従って、この別の観点によると、構造的複屈折の効果は、特にターゲットを絞ったやり方で、例えば、各個別層間の異なった境界面透過率の結果としての、反射防止コーティングのような、(電界ベクトルのs成分及びp成分の異なったフレネル係数に起因して)干渉層系内で生起するリターデーション又は位相差を部分的又は完全に補償するために使用される。

【0035】

従って、本発明によると、最終結果が偏光に関してほぼ中性の挙動を示し、その結果、所望の結果(例えば、反射防止効果)が、干渉層系を通過する光の偏光状態が不所望に乱れずに達成することができるような、干渉層系が形成される。

【0036】

30

ここで使っている用語「ほぼ補償される」とは、完全とは言えない補償レベルも含むものとする。特に、リターデーションの第1の分布の最大値は、有利には、台にリターデーション分布によって少なくとも50%だけ、もっと有利には、少なくとも60%だけ、更にもっと有利には、少なくとも70%だけ低減することができる。

【0037】

有利な実施例によると、光学系によって予め決められる最大入射角度は、少なくとも45°、有利には、少なくとも55°、更にもっと有利には、少なくとも60°である。

【0038】

有利な実施例によると、構造的複屈折によって干渉層系内に生じる第2のリターデーション分布は、光学系によって予め決定された最大入射角迄の角度範囲内で、光学面に入射する、所定の作動波長の光で、干渉層系によって生じた、直交する各偏光状態間での全有効位相差が、±5°の最大値、有利には、±3°の最大値を超過せず、更にもっと有利には、±2°を超過しない。

40

【0039】

上述の構造的複屈折は、干渉層系内で、偏光の2つの直交状態での異なった各境界透過率によって生起する、層構造によって生じる付加的なリターデーションから区別される必要がある。この後者のリターデーションは、図2に略示されているように、s偏光及びp偏光の各々での異なったフレネル係数によって生起し、図2には、各連続層0, 1, 2, ...間の境界面及び個別光線が略示されている。光ビームは、そのような各個別光線の有限個数からなっている。反射防止コーティングで、偏光の両方向の各光線は、殆ど完全

50

に伝送される。従って、コーティング部を通過する際に複数回反射される s 偏光された部分光線全ての総和である s 偏光された光は、通常、p 偏光された光よりも長い光路を有している。

【0040】

本発明の上述の観点によると、s 偏光及び p 偏光に対して異なった各透過率によって、干渉層系内に生起するリターデーションが、直接補償され、即ち、層系自身で補償され、その結果、層系は全体的にもはや、實際上何らかの意味のあるリターデーションを結果として生じることはない。

【0041】

この補償は、構造的複屈折によって干渉層系内に生起する位相差が、適切なやり方で、干渉層系の全表面に亘って調整又は変調され、即ち、その結果、位相差は、ほぼ補償される。

10

【0042】

有利な実施例によると、干渉層系の少なくとも 1 つの層は、第 2 のリターデーション分布を生じる構造的複屈折を調整する目的に役立つ、可変の厚みを有している。

【0043】

別の観点によると、本発明は、干渉層系を有する少なくとも 1 つの湾曲レンズ表面を有する光学要素に関しており、干渉層系は、各層の交互シーケンスを有しており、各層の少なくとも 1 つは、少なくとも 1 つの中間層によって細分されており、中間層は、5 nm よりも大きくない厚みを有しており、少なくとも 1 つの、細分された層内に形成された円柱構造体は、少なくとも 1 つの中間層によって中断されている。

20

【0044】

別の観点によると、本発明は、干渉層系を有する少なくとも 1 つの湾曲レンズ表面を有する光学要素に関しており、干渉層系は、各層の交互シーケンスを有しており、各層の少なくとも 1 つは、少なくとも 1 つの中間層によって細分されており、中間層は、5 nm よりも大きくない厚みを有しており、少なくとも 1 つの細分された層内に形成された円柱構造体は、少なくとも 1 つの中間層によって中断されており、その際、中間層は、干渉層系の有効複屈折分布を変える効果を有している。

【0045】

別の観点によると、本発明は、基板の少なくとも 1 つの光学面上に、干渉層系を堆積することによって、光学要素を製造する方法に関しており、その際、所定の最大入射角度迄の角度範囲内で光学面上に入射する所定の作動波長の光に対して、干渉層系内に、偏光の相互に直交する状態での異なった境界面透過率によって生じるリターデーションの第 1 の分布は、構造的複屈折によって干渉層系内に生じるリターデーションの第 2 の分布によってほぼ補償されるように、干渉層系が堆積されている。

30

【0046】

有利な実施例によると、干渉層系の少なくとも 1 つの層は、層材料から形成された多数の円柱から形成された円柱構造体を有しており、各円柱は、円柱軸を有しており、且つ、各円柱間に複数の孔を有しており、各円柱軸と光学面の面法線方向との間で測定された円柱傾斜角度 () は、リターデーションの第 2 の分布を生じる構造的複屈折を調整するために、光学面に亘って変えられる。

40

【0047】

有利な実施例によると、構造的複屈折によって干渉層系内に生じるリターデーションの分布の分布プロフィールは、以下の各ステップの 1 つを用いて、又は、各ステップの組合せを用いて調整され：

- a) 基板上に干渉層系を堆積するための蒸着プロセス中蒸着温度を変えること；
- b) 光学面に亘って、干渉層系の少なくとも 1 つの層内で、円柱構造体内の円柱傾斜角度を変えること；
- c) 干渉層系の少なくとも 1 つの層の層厚を変えること；又は
- d) 干渉層系の堆積中に、少なくとも 1 つの中間層を挿入し、それにより、干渉層系の

50

堆積中に形成される円柱構造体が中断されるようにすることにより調整される。

【0048】

本発明は、マイクロリソグラフィ投影露光装置、光学要素の製造方法、マイクロ構造化されたコンポーネントのマイクロリソグラフィにより製造するための方法、並びに、マイクロ構造化されたコンポーネントに関する。

【0049】

本発明の別の有利な実施例は、従属請求項に記載されている。

【実施例】

【0050】

以下、本発明について、図示の実施例を用いて詳細に説明する。

10

【0051】

図面において：

図1は、構造的複屈折の作用を説明するために、コーティング構造を略示した図、

図2は、電界ベクトルのs成分及びp成分での異なった各境界面透過率によってリターンデーションが生じる様子について説明するために用いる略図、

図3は、干渉層系の例で、反射の程度が、作動波長157nmでの入射角に依存する程度を示す図、

図4は、構造的複屈折のない図3の干渉層系での電界ベクトルのs成分とp成分との位相差の角度依存度の計算結果を示す図、

図5は、図4に従って計算された、つまり、各測定によって決定された、図3の干渉層系で、構造的複屈折のない電界ベクトルのs成分とp成分との位相差の角度依存度、及び、付加的に、斜め蒸着の場合に各測定によって決定された位相差の角度依存度を示す図、

20

図6は、異なった層厚での電界ベクトルのs成分とp成分との位相差の計算された角度依存度を示す図、

図7は、本発明の実施例による干渉層系の構造を説明するのに使う、本発明による干渉層系の略図、

図8a - bは、本発明の実施例による干渉層系の構造を説明するのに使う、本発明による干渉層系の略図、

図9は、中間層付きの場合及び中間層なしの場合での、異なった最大接線角度及び典型的な反射防止コーティング系での電界ベクトルのs成分とp成分との位相差の角度依存度を示す図、

30

図10は、マイクロリソグラフィ投影露光装置の主要設計構造の説明に供する略図である。

【0052】

光学要素、例えば、干渉層系、例えば、反射防止コーティングを備えたマイクロリソグラフィ投影露光装置の照明装置又は投影対物レンズを改善するために、第1のステップは、要求される透過特性に従って適切な干渉層系を選択することにある。

【0053】

干渉層系の例は、表1に示されており、その際、個別層の厚みは、各事例で、ナノメートル(nm)並びにQWOT単位("quarter' wave optical thickness" 1/4波長光学厚み)である。

40

【0054】

【表 1】

表 1 :

層 厚 [nm]	QWOT	層材料
4	0.20	LaF ₃
16	0.60	MgF ₂
6	0.26	LaF ₃
32	1.22	MgF ₂
41	1.91	LaF ₃
29	1.13	MgF ₂
21	0.97	LaF ₃
26	1.00	MgF ₂

10

【 0 0 5 5 】

図 3 は、1 5 7 n m の場合の反射度を示し、図 4 は、計算による角度依存の位相差を示し、即ち、位相差デルタは、複屈折に起因し、その際、デルタは、入射角度の関数として、作動波長 1 5 7 n m の干渉層系を通して透過される光の電界ベクトルの s 成分と p 成分との位相差を示し、即ち、デルタ = 位相 (p) - 位相 (s) を示す。図 4 から分かるように、實際上、約 3 0 ° 以上では位相差は生じない。これとは逆に、約 4 ° ~ 5 ° の位相差は、それ自体、入射角度より高い領域で、例えば、入射角度 5 5 ° で生じる。入射角度は、レンズの縁に行くに連れて、大きくなることがよくある。

20

【 0 0 5 6 】

干渉層系によって伝送される光の偏光状態の不所望な変化を回避するための手段として、「構造的複屈折 ("form-birefringent") 」コーティングが、本発明により形成されるように、この種の位相差及びレンズの縁に向かう領域内に形成され、即ち、付加的なリターデーションが、例えば、干渉層系の個別層内での円柱の傾斜角度をプロセス制御により変化させることによって、構造的複屈折を生じる円柱構造の、特別にターゲット (狙い) を絞った変化によって、レンズの領域内に導入され、その際、付加的に導入されるリターデーションは、丁度、構造的複屈折なしに生じるリターデーションを補償する大きさのリターデーションである。

30

【 0 0 5 7 】

前述のプロセス制御による変化を達成するためのプロシージャについて、図 5 を用いて一層詳細に説明する。図 5 の破線は、垂直方向の蒸着の場合の位相差を示し、その際、実線は、4 0 ° 斜め蒸着で、レンズ上の点での位相差を示す。位相差の測定は全て、伝送時に楕円偏光計を用いて行われており、楕円偏光計によると、図に示されている各測定値が直接得られる。

40

【 0 0 5 8 】

図に実線で記述されている位相差分布は、円柱の斜め配向に起因する構造的複屈折成分を含む。約 5 5 ° の入射角の光の場合、この斜め蒸着により、零付近の合成位相差が生じ、つまり、構造的複屈折寄与分が、構造的複屈折を考慮せずに、各々 s 成分及び p 成分での異なった境界面透過率に起因して生じる位相差を補償する大きさであることが分かる。図 5 から更に明らかであるように、主に斜め蒸着の結果として導入される構造的複屈折により、付加的に、入射角のほぼ全範囲に亘って構造的複屈折なしに得られるプロフィールに重畳される偏差が生じる。偏差の大きさ、即ち、構造的複屈折に起因して実線が位置ずれを生じる量は、円柱の傾斜を変えることによって (蒸着角度によって)、層厚、孔の個

50

数（温度を調節することによって）、並びに、円柱の成長を妨害又は停止するために中間層を挿入することによって、特にターゲット（狙い）を絞ったやり方で、制御することができる。

【0059】

図6は、層厚が大きくなることによって（例えば、干渉層系の全ての層が5%だけ大きくなることによって）、s成分及びp成分で各々異なった境界面透過率の結果得られる位相差が変化する様子を示す。この場合、層厚が大きくなる場合、構造的複屈折から得られる位相差も大きくなり、s成分及びp成分に対して各々異なった境界面透過率に起因して、位相差は、たいいていの場合減少する。

【0060】

総じて、全層系に対して構造的複屈折が寄与する位相差の部分は、各々、各個別層の寄与分の総和から得られ、その際、個別層の幾何形状とコーティングパラメータの関数としての個別層の寄与分は、実際に、ほぼ、以下の関係式に合致するものを見なすことができる：

$$\Delta_{FDB} = K \cdot B \cdot d \quad (3)$$

その際、Kは、コーティングプロセス及びコーティング材料の温度に依存するファクタを示し、 θ は、レンズの接線角度を示し、Bは、開口の強さ（strength）を示し、及び、dは、コーティング厚みを示す。1より小さなBの値では、蒸着角度は低減され、1より大きなBの値では、蒸着角度は増大される。実際には、前述の関係により、少なくとも50°に至る迄の接線角度の場合に極めて良好な近似値が示される。

【0061】

このようにして、レンズ上の構造的複屈折を特にターゲット（狙い）を絞って設定することによって、リターデーション全体が（即ち、構造的複屈折と、干渉層系内のs成分とp成分に対する異なった各境界面透過率）零付近に維持されるようになり、その結果、レンズ上に堆積される干渉層系は、偏光に関して中性で、入射角度の関連のある範囲の全てに亘って挙動する。

【0062】

本発明によると、構造的複屈折の変調の程度を設定するために（即ち、図5の実線でのシフト）、個別又は組み合わせて、以下の各手段が使われ：

a) 孔の総数を変えるために、温度を設定すること。一般的には、低い温度で、高い個数の孔（即ち、例えば、空気が一層多い）が層系内に形成され、その層系内では、円柱の斜め成長に起因して、空気がそれ自体層内で異方性に寄与し、それにより、異なった方向での各屈折指数の差が大きくなる。従って、低い温度設定に起因する空気量を含めると、曲線のシフトが大きくなることがある。構造的複屈折の、温度の関数としての変化は、例えば、世界知的所有権機関特許第03/077007号に記載されている。

b) 適切な温度技術を用いて、円柱の方向を変えること。この手段を用いて、蒸着の幾何形状が、（図5の実線の曲線内の大きなシフトを達成するために）既存の光束からの大きな蒸着角度の範囲を選択するために、又は、（前述の曲線内での小さなシフトを達成するために）小さな蒸着角度の範囲を選択するために、適切なオブスキュレーション開口絞りによって変えられる。蒸着角度を制御するための方法は、例えば、米国特許第6863398号明細書に記載されており、当該明細書の開示内容は全て、本発明の出願に際して参照されている。例えば、オブスキュレーション絞りは、低い蒸着角度をカットオフすることができ、その結果、比較的大きな蒸着角度の光束の部分だけが、レンズに入射し、それにより、比較的大きな、曲線のシフトが達成される。従って、オブスキュレーション開口絞りを、例えば、レンズの対向面上に配設することによって、円柱のほぼ垂直方向の成長（従って、曲線内の小さなシフト）を達成することができる。例えば、Dirks, Leamy; Thin Solid Films, Vol. 47, 219-221 (1977)には、関係式 $\tan(b) = 1/2 \cdot \tan(a)$ が、円柱の成長方向と蒸着方向との間に成立し、その際、bは、円柱の傾斜の角度を示し、aは、蒸着角度（即ち、面法線方向と、蒸着ジェットとの間の角度）を示す。

c) 層系の個別層の厚みを変えること。構造的複屈折の位相差は、 $n \cdot d$ （その際、d

10

20

30

40

50

は、層厚を示し、 n は、屈折率の差を示す)によって示され、その結果、層厚を大きくすることによって、曲線のシフトを一層大きくすることができるようになる。層厚を変えることによって、異なった境界面透過率によって生じる(及び、たいていの場合、厚みが大きくなるにつれて、低減する)リターデーションに作用を及ぼすことができる。

d) 比較的薄い層を挿入すること。それにより、円柱の成長を中断することができ、円柱の整列を妨害することができる。その手段が講じられると、典型的にはかなり薄い厚みの、1つ以上の中間層が、層系の各層の交互シーケンス内に形成される。例えば、 $\text{LaF}_3/\text{MgF}_2$ 層系において、1つ以上の LaF_3 層が中間層によって細分され、例えば、例えば、40 nm厚の LaF_3 層が、各分割時に挿入された MgF_2 の蒸着された中間層を有する、2つ又は3つの LaF_3 層に細分される。更に、中間層に適切な材料は、例えば、 ErF_3 、 AlF_3 、チオリス(chiolith) ($\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$)、クリオリス(kryolith) (Na_3AlF_6)、 DyF_3 、又は SiO_2 である。これは、構造的複屈折の変調の程度を変えることができ、その際、蒸着装置の幾何形状、層厚、又は、温度を変える必要はないという利点を有している。

【0063】

図7は、本発明の実施例の干渉層系の部分略図であり、主要構造を説明するためにのみ提示されている。

【0064】

図7に部分700で示されている干渉層系は、基板710(例えば、作動波長の光に対して透過性であるレンズ)を有しており、基板710は、第1のコーティング材料(例えば、 MgF_2)の第1の層721-724と、第2のコーティング材料(例えば、 LaF_3)の第2の層731-734との間で交互に形成された層シーケンスを有しており、その際、実施例に示された層733は、中断され、又は、第3の層材料の2つの中間層741及び742によって細分されている。この例で、第2の材料の層733を中断する中間層の材料は、ここでもまた、第1の材料(即ち、この例では、 MgF_2)から形成されており、又は、層733内での円柱の成長を妨害する何らかの別の適切な材料から形成されている。特に、中間層によく適しているのは、それ自身複屈折しないか、又は複屈折が小さな量である、例えば、 ErF_3 、 AlF_3 、チオリス(chiolith) ($\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$)、クリオリス(kryolith) (Na_3AlF_6)、 DyF_3 、及び SiO_2 のようなコーティング材料である。

【0065】

図8a-bは、干渉層系820が平凸レンズ810の湾曲レンズ表面上に設けられている実施例の略示である。干渉層系820は、図8bの拡大図から分かるように、第1の材料(例えば、 LaF_3)の第1の層821、823、及び、第2の材料(例えば、 MgF_2)の第2の層822、824の交互シーケンスを有しており、その際、第1の材料の1つの層823が中断され、又は、更に、かなり薄い厚みの中間層825の中間層825(実施例では、例えば、 MgF_2 の蒸着された中間層でよい)によって細分されている。中間層825の厚みは、5 nmより大きくない大きさであり、有利には、0.5から2 nmの範囲内である。更に、中間層825は、有利には、細分された層823の厚みよりもかなり小さな厚みを有しており、典型的には、20から50 nmの範囲内にするとよい。

【0066】

有利には、中間層の厚みは、細分された層の厚みよりも少なくとも10倍小さな厚みを有しており、更に有利には、細分された層の厚みよりも少なくとも15倍小さな厚みを有しており、更に一層有利には、細分された層の厚みよりも少なくとも20倍小さな厚みを有している。当然、図8の実施例は、中間層を1つだけ設けることに限定するものではなく、その結果、2つ、又は、それ以上の中間層を、干渉層系の同じ層又は異なった層に細分するようにしてもよい。

【0067】

図9によると、電界ベクトルのs成分とp成分との位相差の角度依存度が、中間層なしの場合(実線)及び中間層付きの場合(破線)で、異なった最大接線角度値 \tan での6層反射防止コーティング系で測定された。表2には、(nmで示した)厚み、(全波光学厚み、full wave optical thickness = FWOT)及び個別

10

20

30

40

50

層の材料が、中間層なしの干渉層系に対して示されている。表 3 には、個別層の厚み及び材料が、中間層を有する、この干渉層系用に示されている。従って、表 2 の干渉層系は、表 3 の、中間層なしの干渉層系と比較して、同様の系である。その理由は、表 3 及び表 2 の干渉層系の順序、材料及び厚みは、中間層を考慮しなければ、同じであるからである。

【 0 0 6 8 】

【表 2】

表 2 :

層 厚 [nm]	光学厚み FWOT	材 料
32	0.25 - 0.3	LaF ₃
8	0.05 - 0.1	MgF ₂
12	0.05 - 0.15	LaF ₃
35	0.25 - 0.35	MgF ₂
32	0.2 - 0.3	LaF ₃
33	0.2 - 0.3	MgF ₂

10

【 0 0 6 9 】

【表 3】

表 3 :

層 厚 [nm]	材 料
8	LaF ₃
0.7	MgF ₂
8	LaF ₃
0.7	MgF ₂
8	LaF ₃
0.7	MgF ₂
8	LaF ₃
8	MgF ₂
6	LaF ₃
0.5	MgF ₂
6	LaF ₃
35	MgF ₂
8	LaF ₃
0.7	MgF ₂
8	LaF ₃
0.7	MgF ₂
8	LaF ₃
0.7	MgF ₂
8	LaF ₃
33	MgF ₂

30

40

【 0 0 7 0 】

図 8 a に示された接線角度 θ_{tan} は、光学活性レンズ表面上の各位置で、この位置でのレンズ表面の接線と、湾曲レンズ表面の頂点でのレンズ表面の接線との間の角度として定義されている。図 9 から推論することができるように、両方のグラフの場合に、最大接線

50

角度が増大すると共に位相差も直線的に増大する間、グラフの勾配も位相差の絶対値も、接線角度の各値に対して、零よりもかなり大きく、表 3（即ち、中間層を有する）の反射防止コーティング系の場合、表 2（即ち、中間層なし）の類似の反射防止コーティング系の場合よりもかなり小さい。

【 0 0 7 1 】

図 10 は、本発明の照明系を有するマイクロリソグラフィ投影露光装置の装置構成全体の略図である。

【 0 0 7 2 】

図 10 に示されているように、投影露光装置 800 は、照明装置 801 及び投影対物レンズ 802 を有している。投影対物レンズ 802 は、開口絞り AP を備えたレンズ構成部 803 を有しており、その際、光軸 OA は、レンズ構成部 803 によって定義されている（略示されているにすぎない）。例えば、反射防止コーティングを、本発明の干渉層系の形式で有するレンズ L は、略示されているにすぎない。

10

【 0 0 7 3 】

照明装置 801 と投影対物レンズ 802 との間に、マスクホルダ 805 を用いて光路内に保持されたマスク 804 が配置されている。

【 0 0 7 4 】

マスク 804 は、マイクロ・ナノメートルオーダーの大きさの構造部を有しており、この構造部は、投影対物レンズ 802 を用いて、例えば、4 又は 5 のイメージ縮率 (image-reduction factor) で、イメージプレート IP 上に投影される。

20

【 0 0 7 5 】

イメージプレーン IP では、基板 806 又はウエーハが、基板ホルダ 807 によって位置決めされている位置に保持されている。装置により解像することができる最少構造は、照明用に使われる光の波長 に依存しており、つまり、投影対物レンズ 802 のイメージ側の開口数に依存しており、その際、投影露光装置 800 を用いて達成することができる最大解像度は、照明装置 801 の波長 が短くなるにつれて、及び、投影対物レンズ 802 のイメージ側の開口数が大きくなるにつれて大きくなる。

【 0 0 7 6 】

本発明について、図示の特別な実施例を用いて説明してきたが、当業者は、例えば、個別実施例の各特徴を結合させたり、及び / 又は、個別実施例の各特徴を交換したりして、多数の変形実施例及び択一的な実施例を実施することができる。従って、そのような変形乃至択一的な実施例は、本発明に含まれるものと見なされ、本発明の範囲は、特許請求の範囲及びその等価内容にのみ限定される。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 7 7 】

【図 1】 構造的複屈折の作用を説明するために、コーティング構造を略示した図。

【図 2】 電界ベクトルの s 成分及び p 成分での異なった各境界面透過率によってリターデーションが生じる様子について説明するために用いる略図。

【図 3】 干渉層系の例で、反射の程度が、作動波長 157 nm での入射角に依存する程度を示す図。

40

【図 4】 構造的複屈折のない図 3 の干渉層系での電界ベクトルの s 成分と p 成分との位相差の角度依存度の計算結果を示す図。

【図 5】 図 4 に従って計算された、つまり、測定によって決定された、図 3 の干渉層系で、構造的複屈折のない電界ベクトルの s 成分と p 成分との位相差の角度依存度、及び、付加的に、斜め蒸着の場合に測定によって決定された位相差の角度依存度を示す図。

【図 6】 異なった層厚での電界ベクトルの s 成分と p 成分との位相差の計算された角度依存度を示す図。

【図 7】 本発明の実施例による干渉層系の構造を説明するのに使う、本発明による干渉層系の略図。

【図 8】 a - b は、本発明の実施例による干渉層系の構造を説明するのに使う、本発明に

50

よる干渉層系の略図。

【図 9】中間層付きの場合及び中間層なしの場合での、異なった最大接線角度及び典型的な反射防止コーティング系での電界ベクトルの s 成分と p 成分との位相差の角度依存度を示す図。

【図 10】マイクロリソグラフィ投影露光装置の主要設計構造の説明に供する略図。

【符号の説明】

【 0 0 7 8 】

7 0 0 干渉層系

7 1 0 基板

7 2 1 - 7 2 4 第 1 の層

7 3 1 - 7 3 4 第 2 の層

7 4 1 及び 7 4 2 中間層

8 0 0 投影露光装置

8 0 1 照明装置

8 0 2 投影対物レンズ

A P 開口絞り

8 0 3 レンズ構成部

O A 光軸

8 0 4 マスク

8 0 5 マスクホルダ

8 0 6 基板

8 0 7 基板ホルダ

8 1 0 平凸レンズ

8 2 0 干渉層系

8 2 1 , 8 2 3 第 1 の層

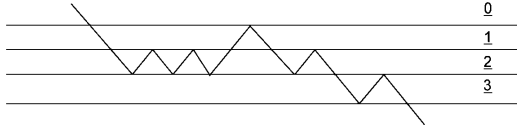
8 2 2 , 8 2 4 第 2 の層

8 2 5 中間層

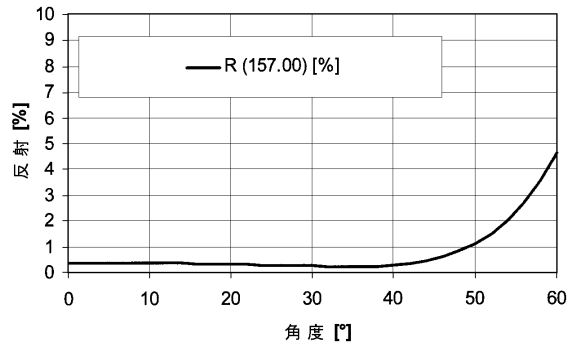
10

20

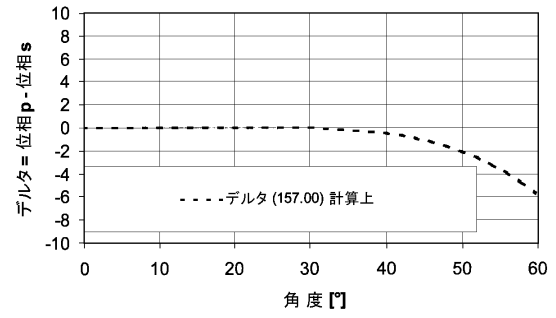
【図 2】



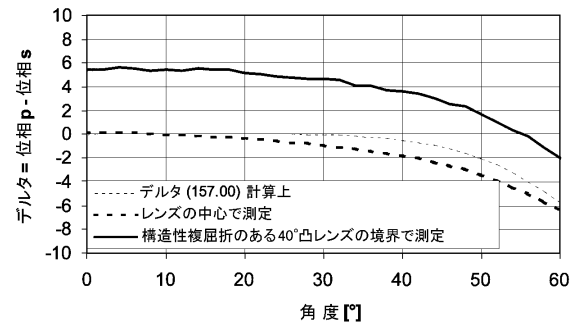
【図 3】



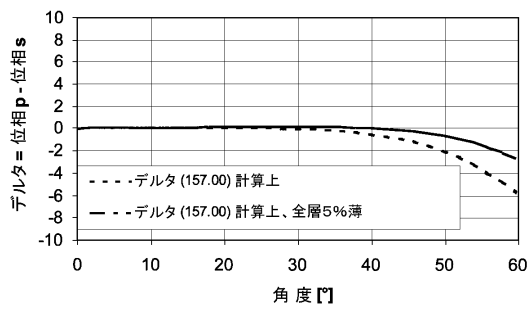
【図 4】



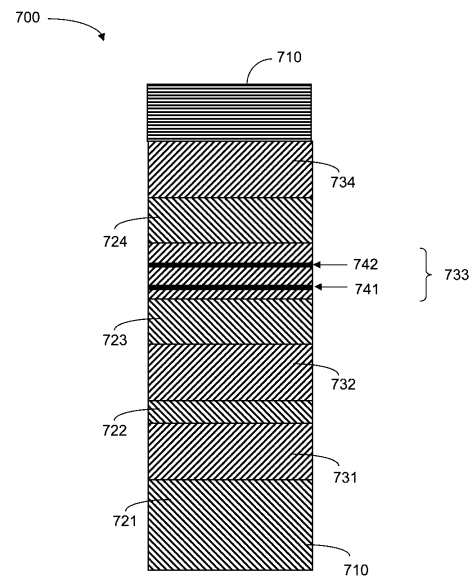
【図 5】



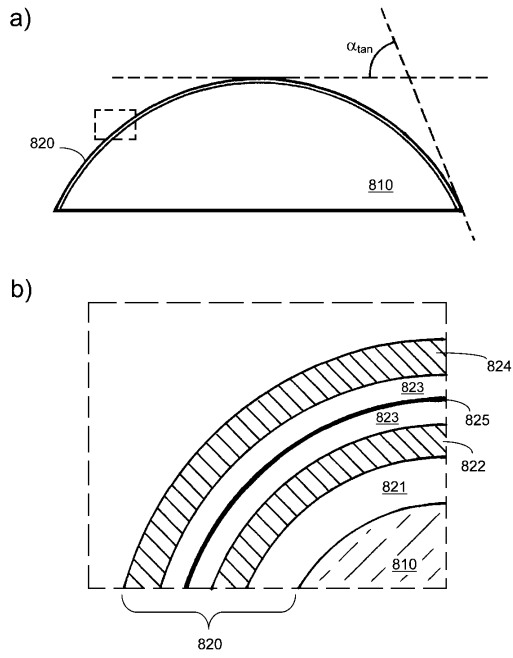
【図 6】



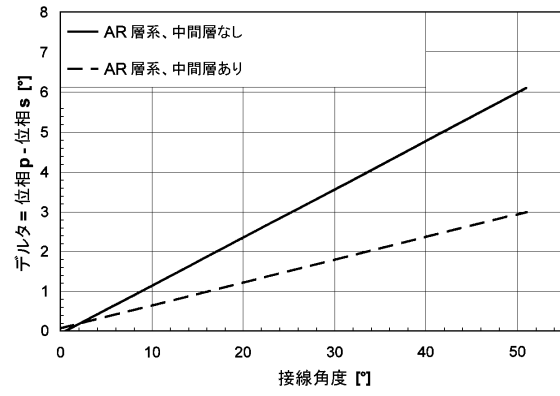
【図 7】



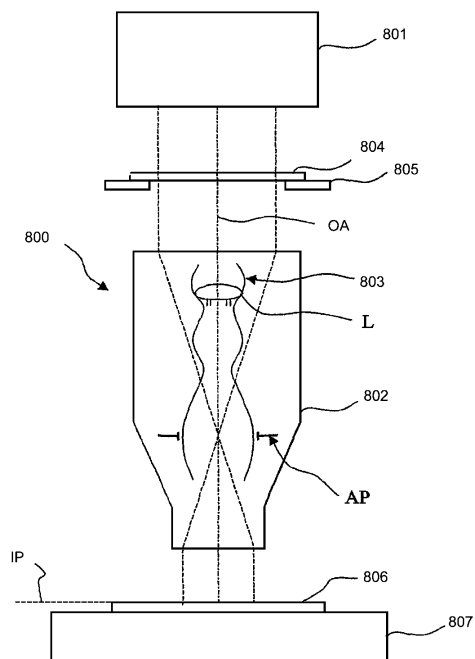
【図 8】



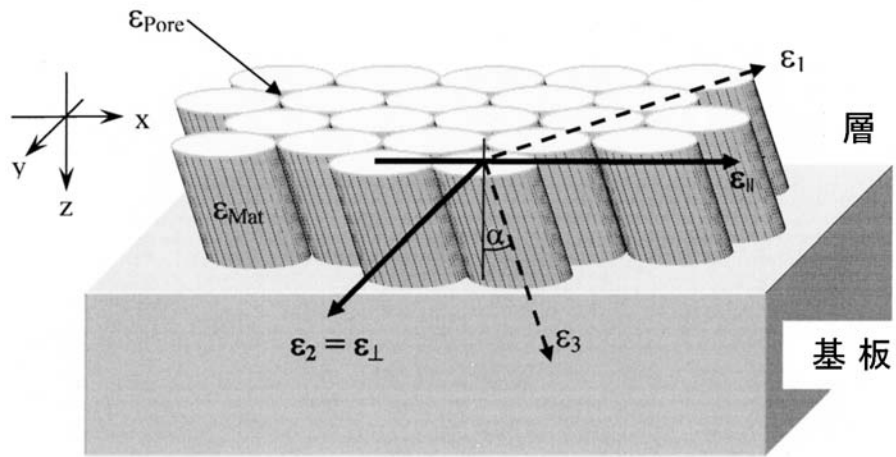
【図 9】



【図 10】



【図 1】



フロントページの続き

- (72)発明者 アレクサンドラ バツィデイス
ドイツ連邦共和国 アーレン フンボルトシュトラーセ 13
(72)発明者 クリストフ ツァチェック
ドイツ連邦共和国 ホイバッハ ラウテルナー シュトラーセ 37

審査官 池田 周士郎

- (56)参考文献 特開2000-098101(JP,A)
特開2003-266011(JP,A)
特開平10-081955(JP,A)
特表2004-526331(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 1/11
G02B 13/00
H01L 21/027