(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2015-509662
(P2015-509662A)
(43)公表日　平成27年3月30日(2015.3.30)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
H01L 21/027	***(2006.01)***	H01L	21/30	516A	2H149
G02B 5/30	***(2006.01)***	H01L	21/30	515D	5F146
		G02B	5/30		

審査請求 未請求　予備審査請求 未請求　（全 64 頁）

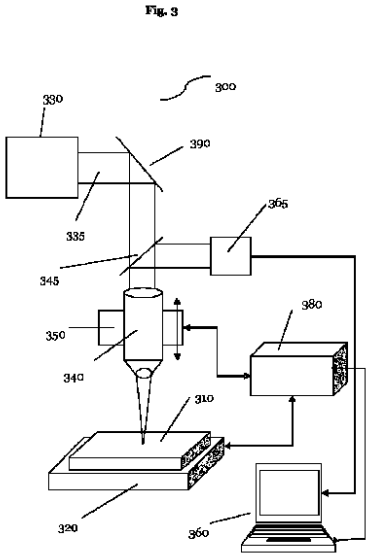
(21)出願番号　特願2014-558009 (P2014-558009)
(86)(22)出願日　平成24年2月21日 (2012.2.21)
(85)翻訳文提出日　平成26年10月21日 (2014.10.21)
(86)国際出願番号　PCT/EP2012/052909
(87)国際公開番号　WO2013/123973
(87)国際公開日　平成25年8月29日 (2013.8.29)

(71)出願人　511186631
カール　ツァイス　エスエムエス　リミテッド
イスラエル　２１６１３　カルミエル　マール　カモン　４４
(71)出願人　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　100092093
弁理士　辻居　幸一
(74)代理人　100082005
弁理士　熊倉　禎男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光学系の少なくとも１つの欠陥を補償する方法及び装置

(57)【要約】
本発明は、少なくとも１つの欠陥が少なくとも部分的に補償されるように光学系の少なくとも１つの光学要素内に局所持続性修正配置を導入する段階を含む光学系の少なくとも１つの欠陥を補償する方法に関する。超短レーザパルスを使用して、局所偏光変化を補償するための歪み誘起複屈折を生成し、又は強度変化を補償するための局所散乱分布を生成する。
【選択図】　図３



【特許請求の範囲】
【請求項１】
光学系の少なくとも１つの欠陥を補償する方法であって、
前記少なくとも１つの欠陥が少なくとも部分的に補償されるように、その光学面のうちの１つの上にパターン要素を持たない前記光学系の少なくとも１つの光学要素内に少なくとも１つの局所持続性修正配置を導入する段階、
を含むことを特徴とする方法。
【請求項２】
前記少なくとも１つの欠陥は、前記光学系の前記少なくとも１つの光学要素の局所偏光変化及び／又は該光学系の該少なくとも１つの光学要素の局所強度変化を含むことを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記少なくとも１つの局所持続性修正配置を前記少なくとも１つの光学要素の光学的有効区域内に導入する段階、及び／又は該少なくとも１つの局所持続性修正配置を該少なくとも１つの光学要素の該光学的有効区域の外側に導入する段階、及び／又は少なくとも１つの第１の局所持続性修正配置を該少なくとも１つの光学要素の該光学的有効区域内に導入し、かつ少なくとも１つの第２の局所持続性修正配置を該少なくとも１つの光学要素の該光学的有効区域の外側に導入する段階を更に含むことを特徴とする請求項１又は請求項２に記載の方法。
【請求項４】
前記少なくとも１つの局所持続性修正配置を該少なくとも１つの局所持続性修正配置によって誘起される歪みが前記光学系の前記局所偏光変化を少なくとも部分的に補償するように選択する段階を更に含むことを特徴とする請求項１から請求項３のいずれか１項に記載の方法。
【請求項５】
少なくとも１つの第１の光学要素の少なくとも１つの第１の欠陥、及び／又は前記光学系の少なくとも１つの第２の光学要素の該少なくとも１つの第１の欠陥、及び／又は該光学系の該少なくとも１つの第２の光学要素の少なくとも１つの第２の欠陥、及び／又は該少なくとも１つの第１の光学要素の該少なくとも１つの第２の欠陥を該少なくとも１つの第１の光学要素内の前記少なくとも１つの局所持続性修正配置を用いて補償する段階を更に含むことを特徴とする請求項１から請求項４のいずれか１項に記載の方法。
【請求項６】
前記少なくとも１つの局所持続性修正配置を前記少なくとも１つの光学要素の強度変化測定、偏光測定、及び／又は複屈折測定から及び／又は前記光学系の強度変化測定、偏光測定、及び／又は複屈折測定から決定する段階を更に含むことを特徴とする請求項１から請求項５のいずれか１項に記載の方法。
【請求項７】
前記欠陥を最大範囲で補償する前記少なくとも１つの局所持続性修正配置を導入するための前記光学系の前記光学要素を選択する段階を更に含むことを特徴とする請求項１から請求項６のいずれか１項に記載の方法。
【請求項８】
フォトリソグラフィ投影露光系の照明系の光学要素内に該照明系の視野平面の隣に配置された前記少なくとも１つの局所持続性修正配置を導入する段階、及び／又は照明系の光学要素内に該照明系の該視野平面と瞳平面の間に配置された該少なくとも１つの局所持続性修正配置を導入する段階を更に含むことを特徴とする請求項１から請求項７のいずれか１項に記載の方法。
【請求項９】
少なくとも１つの局所持続性修正配置をそれが前記少なくとも１つの欠陥を最大範囲で補償する位置に有する追加光学要素を前記光学系内に挿入する段階を更に含むことを特徴とする請求項１から請求項８のいずれか１項に記載の方法。

【請求項１０】
少なくとも１つの局所持続性修正配置を少なくとも１つのリターデーション補償構成要素に導入する段階を更に含み、
前記少なくとも１つのリターデーション補償構成要素は、前記光学系に追加的に挿入されるものである、
ことを特徴とする請求項１から請求項９のいずれか１項に記載の方法。
【請求項１１】
前記少なくとも１つの局所持続性修正配置は、前記光学系の不均一性補償に使用される減光フィルタに導入されることを特徴とする請求項１から請求項１０のいずれか１項に記載の方法。
【請求項１２】
前記光学系の各光学要素を補償する段階を更に含むことを特徴とする請求項１から請求項１１のいずれか１項に記載の方法。
【請求項１３】
前記少なくとも１つの光学要素の前記少なくとも１つの欠陥を測定する段階と該少なくとも１つの光学要素の該少なくとも１つの欠陥を補償する段階とが、組合せ装置において行われることを特徴とする請求項１２に記載の方法。
【請求項１４】
前記少なくとも１つの光学要素及び／又は前記少なくとも１つの追加光学要素は、前記光学系内のビーム伝播方向に対して垂直な平面内で回転対称ではない少なくとも１つの局所持続性修正配置を含むことを特徴とする請求項１から請求項１３のいずれか１項に記載の方法。
【請求項１５】
前記少なくとも１つの光学欠陥を欠陥補償が最大にされるように前記少なくとも１つの光学要素及び／又は前記少なくとも１つの追加光学要素を前記ビーム伝播方向の回りに回転させることによって補償する段階を更に含むことを特徴とする請求項１４に記載の方法。
【請求項１６】
前記少なくとも１つの光学要素及び／又は前記少なくとも１つの追加光学要素は、該少なくとも１つの光学要素及び／又は該少なくとも１つの追加光学要素のビーム伝播方向に対して垂直な平面に配分された異なる局所持続性修正配置を有する少なくとも２つの欠陥補償区域を含むことを特徴とする請求項１から請求項１３のいずれか１項に記載の方法。
【請求項１７】
前記少なくとも１つの光学要素及び／又は前記少なくとも１つの追加光学要素を該少なくとも１つの光学要素及び／又は該少なくとも１つの追加光学要素の前記欠陥補償区域が前記光学系の透明開口に位置合わせするように前記ビーム伝播方向の回りに回転させる段階を更に含むことを特徴とする請求項１６に記載の方法。
【請求項１８】
前記少なくとも１つの欠陥が最大範囲で補償されるように前記少なくとも１つの追加光学要素を前記光学系内のビーム伝播方向に沿ってシフトさせる段階を更に含むことを特徴とする請求項１から請求項１７のいずれか１項に記載の方法。
【請求項１９】
前記少なくとも１つの局所持続性修正配置を前記少なくとも１つの光学要素の面輪郭に対して一定の深さに導入する段階を更に含むことを特徴とする請求項１から請求項１８のいずれか１項に記載の方法。
【請求項２０】
少なくとも２つの異なる局所持続性修正配置を前記少なくとも１つの光学要素の様々な深さに導入する段階を更に含むことを特徴とする請求項１から請求項１９のいずれか１項に記載の方法。
【請求項２１】

その光学面のうちの１つの上にパターン要素を持たない光学系の少なくとも１つの欠陥を補償するための光学要素であって、
前記少なくとも１つの欠陥を少なくとも部分的に補償する少なくとも１つの局所持続性修正配置、
を含むことを特徴とする光学要素。
【請求項２２】
結像特性を持たず、前記光学系に追加的に挿入される追加光学要素を含むことを特徴とする請求項２１に記載の光学要素。
【請求項２３】
光学要素及び／又は追加光学要素が、更に、請求項１から請求項２０のいずれか１項に記載の方法を実行するようになっていることを特徴とする請求項２１に記載の光学要素及び／又は請求項２２に記載の追加光学要素。
【請求項２４】
光学系の少なくとも１つの欠陥を補償するための装置であって、
ａ．前記光学系の前記少なくとも１つの欠陥を決定するようになった測定ユニット、
ｂ．前記光学系の前記少なくとも１つの欠陥から少なくとも１つの局所持続性修正配置を決定するようになった演算ユニット、及び
ｃ．その面のうちの１つの上にパターン要素を持たない前記光学系の少なくとも１つの光学要素内に前記少なくとも１つの局所持続性修正配置を導入するようになった光源、
を含むことを特徴とする装置。
【請求項２５】
前記測定ユニットは、偏光計を含むことを特徴とする請求項２４に記載の装置。
【請求項２６】
前記測定ユニット及び前記光源は、単一デバイスに組み合わされることを特徴とする請求項２４又は請求項２５に記載の装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、光学系の少なくとも１つの欠陥を補償する分野に関する。
【背景技術】
【０００２】
光学系は、その性能に関して益々高まる要求を満たさなければならない。例えば、望遠鏡の光学要素のサイズは、はるか遠くの物体から発する限られた個数の光子を収集するために絶えることなく拡大している。その一方、顕微鏡は、例えば、周囲に対するコントラストをほとんど持たない物体を解像しなければならない。更に、投影系は、益々小さい構造を解像することを要求されている。
【０００３】
以下では、光学系に対して益々高まる要求を投影系、特にフォトリソグラフィ投影露光系に対して例示する。これらの光学系は、微細構造化構成要素、特に集積回路（ＩＣ）のような半導体構成要素の製造に使用される。投影露光系は、基本的な構成要素として光源と、照明デバイス又は照明系と、投影対物系又は投影系とを含む。深紫外（ＤＵＶ）波長領域の電磁放射線を使用する最新の投影露光系では、光源は、典型的には、エキシマレーザ系（２４８ｎｍ波長のためのフッ化クリプトン（ＫｒＦ）エキシマレーザ、１９３ｎｍ波長のためのフッ化アルゴン（ＡｒＦ）レーザ、１５７ｎｍ波長のためのフッ化物（F_2）エキシマレーザ）である。照明系は、照明デバイスの背後に配置されたフォトリソグラフィマスク又は単純にマスクをレーザ光で照明する。投影対物系は、マスクを通して透過された光を集光し、それを基板上に施された感光層又はフォトレジスト上にフォーカスさせる。基板は、多くの場合に、例えば、シリコンウェーハのような半導体ウェーハである。
【０００４】

半導体産業において絶えず高まる集積密度の結果として、フォトリソグラフィ投影露光系は、益々小さい構造をフォトレジスト上に投影しなければならない。この要求を満たすために、投影露光系の露光波長は、電磁スペクトルの近紫外領域から中間紫外領域を横切って深紫外領域内に移行している。現在、ウェーハ上のフォトレジストの露光には、１９３ｎｍの波長が一般的に使用されている。その結果、高まりゆく分解能を有するマイクロリソグラフィ投影露光系の製造は、益々複雑になってきており、従って、益々高価にもなってきている。将来、投影露光系は、電磁スペクトルの極紫外（ＥＵＶ）波長領域の有意に短い波長（例えば、１０ｎｍ～１５ｎｍの範囲）を使用することになる。

【０００５】

Ｍ．Ｔｏｔｚｅｃｋ他は、論文「結像に対する偏光の影響（Ｐｏｌａｒｉｚａｔｉｏｎ ｉｎｆｌｕｅｎｃｅ ｏｎ ｉｍａｇｉｎｇ）」、Ｊ．Ｍｉｃｒｏｌｉｔｈ．、Ｍｉｃｒｏｌａｂ．、Ｍｉｃｒｏｓｙｓｔ．４（３）（２００５年７月～９月）、０３１１０８－１～０３１１０８－１５ページの中で、照明ビームの偏光が投影露光系の分解能に対して有意な影響を有することを解説している。投影露光系の光学構成要素では、インタフェース及びコーティングにおける反射及び透過、及び／又は複屈折が偏光変化に対する最も重要な発生源である。

【０００６】

米国特許ＵＳ ６ １９１ ８８０ Ｂ１は、入射する光ビームを実質的に半径方向に直線偏光された全光断面を有する射出光に射出光ビームの偏光の回転によって変換する光学装置を開示している。この装置は、投影露光系の非対称構成要素又は偏光構成要素の背後に装着されることが重要である。

【０００７】

特許出願ＤＥ ２００４ ０１１ ７３３ Ａ１は、偏光フィルタ装置も含む透過フィルタ装置を記載している。

【０００８】

ＵＳ ２００４／０２６２５００ Ａ１は、ビーム経路内で２つの光弾性変調器及び偏光要素を用いる関連付けられた放射線源によって生成される結像ペンシルビームの空間分解偏光測定検査のための装置を開示している。

【０００９】

ＥＰ １ ８７９ ０７１ Ａ２は、２つの異なる偏光設定の間で高速に切り換えることを可能にするマイクロリソグラフィ投影露光系のための照明光学系を開示している。

【００１０】

Ｕ．Ｎｅｕｋｉｒｃｈ他による論文「偏光レーザからのレーザによって溶融シリカ内に誘起される複屈折（Ｌａｓｅｒ－ｉｎｄｕｃｅｄ ｂｉｒｅｆｒｉｎｇｅｎｃｅ ｉｎ ｆｕｓｅｄ ｓｉｌｉｃａ ｆｒｏｍ ｐｏｌａｒｉｚｅｄ ｌａｓｅｒｓ）」、Ｏｐｔｉｃａｌ Ｍｉｃｒｏｌｉｔｈｏｇｒａｐｈｙ ＶＩＩ、編集者Ｂ．Ｗ．Ｓｍｉｔｈ、ＳＰＩＥ会報、第５７５４号（２００５年）、６３８～６４５ページは、偏光ＤＵＶレーザパルスが、フォトリソグラフィマスクの基板材料として多くの場合に使用される溶融シリカ内に複屈折を誘起する可能性があることを記載している。

【００１１】

著者Ｗ．ｄｅ Ｂｏｅｉｊ他は、公報「ハイパーＮＡ偏光リソグラフィによる４５ｎｍノードの有効化（Ｅｎａｂｌｉｎｇ ｔｈｅ ４５ ｎｍ ｎｏｄｅ ｂｙ ｈｙｐｅｒ－ＮＡ ｐｏｌａｒｉｚｅｄ ｌｉｔｈｏｇｒａｐｈｙ）」、Ｏｐｔｉｃａｌ Ｍｉｃｒｏｌｉｔｈｏｇｒａｐｈｙ ＸＩＸ、編集者Ｄ．Ｇ．Ｆｌａｇｅｌｌｏ、ＳＰＩＥ会報第６１５４号（２００６年）、６１５４０Ｂ－１～６１５４０Ｂ－１１ページにおいて、偏光照明がフォトレジスト内のコントラスト及び露光許容範囲の増大をもたらすことを報告している。

【００１２】

ＳＰＩＥ会報第５７５４号内のＡ．Ｓｅｒｅｂｒｉａｋｏｗ他による論文「深ＵＶリソグラフィにおいて固有複屈折によってもたらされる位相リターデーションの補正（Ｃｏｒ

ｒｅｃｔｉｏｎ ｏｆ ｔｈｅ ｐｈａｓｅ ｒｅｔａｒｄａｔｉｏｎ ｃａｕｓｅｄ ｂｙ ｉｎｔｒｉｎｓｉｃ ｂｉｒｅｆｒｉｎｇｅｎｃｅ ｉｎ ｄｅｅｐ ＵＶ ｌｉｔｈｏｇｒａｐｈｙ）」は、二フッ化カルシウム（CaF_2）及び二フッ化バリウム（BaF_2）の固有複屈折が、これらの構成要素を１５７ｎｍリソグラフィ系内に使用するときにコントラスト損失を招くことを解説している。これらの著者は、これらの材料の固有複屈折を補償するために、異なる結晶軸の向きを有するこれらの材料から構成される光学構成要素を用い、これらの構成要素を互いに対して回転させることを提案している。

【００１３】

特許出願ＷＯ ２００９／１００８６２ Ａ１は、照明デバイスに入射する電磁放射線の偏光を制御するために、照明デバイスの前に少なくとも１つの偏光状態変更デバイスを有するマイクロリソグラフィ投影露光系を開示している。

【００１４】

フォトリソグラフィでは、多くの場合に、マスク上のパターン要素のコントラスト特性を高めるために偏光照明が使用される。従って、ある分解能を可能にすることに加えて、投影露光系は、「ｉｎｔｅｎｓｉｔｙ ｉｎ ｐｒｅｆｅｒｒｅｄ ｓｔａｔｅ（ＩＰＳ）（支配的な状態における強度規格）」も満たさなければならない。この目的のためには、投影露光系の光学構成要素によって誘起される局所的な偏光変化及び強度変化を制御することが重要である。更に、この制御は、例えば、投影露光系を形成する光学構成要素の収差を補償することのような他の目的に使用される最適化自由度を費やしてもならない。本出願の範囲の定義により、この場合に、フォトリソグラフィマスクも、ウェーハ又はウェーハ上に配置されたフォトレジストも、いずれも投影露光系の一部ではないことに注意しなければならない。

【００１５】

投影系、又はより正確にはフォトリソグラフィ投影露光系に対して上記に例示した考察は、望遠鏡系及び／又は顕微鏡系にも同じく適用される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【００１６】

【特許文献１】ＵＳ ６ １９１ ８８０ Ｂ１
【特許文献２】ＤＥ ２００４ ０１１ ７３３ Ａ１
【特許文献３】ＵＳ ２００４／０２６２５００ Ａ１
【特許文献４】ＥＰ １ ８７９ ０７１ Ａ２
【特許文献５】ＷＯ ２００９／１００８６２ Ａ１

【非特許文献】

【００１７】

【非特許文献１】Ｍ．Ｔｏｔｚｅｃｋ他「結像に対する偏光の影響（Ｐｏｌａｒｉｚａｔｉｏｎ ｉｎｆｌｕｅｎｃｅ ｏｎ ｉｍａｇｉｎｇ）」、Ｊ．Ｍｉｃｒｏｌｉｔｈ．、Ｍｉｃｒｏｌａｂ．、Ｍｉｃｒｏｓｙｓｔ．４（３）（２００５年７月～９月）、０３１１０８－１～０３１１０８－１５ページ
【非特許文献２】Ｕ．Ｎｅｕｋｉｒｃｈ他「偏光レーザからのレーザによって溶融シリカ内に誘起される複屈折（Ｌａｓｅｒ－ｉｎｄｕｃｅｄ ｂｉｒｅｆｒｉｎｇｅｎｃｅ ｉｎ ｆｕｓｅｄ ｓｉｌｉｃａ ｆｒｏｍ ｐｏｌａｒｉｚｅｄ ｌａｓｅｒｓ）」、Ｏｐｔｉｃａｌ Ｍｉｃｒｏｌｉｔｈｏｇｒａｐｈｙ ＶＩＩ、編集者Ｂ．Ｗ．Ｓｍｉｔｈ、ＳＰＩＥ会報、第５７５４号（２００５年）、６３８～６４５ページ
【非特許文献３】Ｗ．ｄｅ Ｂｏｅｉｊ他「ハイパーＮＡ偏光リソグラフィによる４５ｎｍノードの有効化（Ｅｎａｂｌｉｎｇ ｔｈｅ ４５ ｎｍ ｎｏｄｅ ｂｙ ｈｙｐｅｒ－ＮＡ ｐｏｌａｒｉｚｅｄ ｌｉｔｈｏｇｒａｐｈｙ）」、Ｏｐｔｉｃａｌ Ｍｉｃｒｏｌｉｔｈｏｇｒａｐｈｙ ＸＩＸ、編集者Ｄ．Ｇ．Ｆｌａｇｅｌｌｏ、ＳＰＩＥ会報第６１５４号（２００６年）、６１５４０Ｂ－１～６１５４０Ｂ－１１ページ
【非特許文献４】Ａ．Ｓｅｒｅｂｒｉａｋｏｗ他「深ＵＶリソグラフィにおいて固有複屈

折によってもたらされる位相リターデーションの補正（Ｃｏｒｒｅｃｔｉｏｎ ｏｆ ｔｈｅ ｐｈａｓｅ ｒｅｔａｒｄａｔｉｏｎ ｃａｕｓｅｄ ｂｙ ｉｎｔｒｉｎｓｉｃ ｂｉｒｅｆｒｉｎｇｅｎｃｅ ｉｎ ｄｅｅｐ ＵＶ ｌｉｔｈｏｇｒａｐｈｙ）」、ＳＰＩＥ会報第５７５４号
【非特許文献５】Ｍ．Ｔｏｔｚｅｃｋ他著「結像に対する偏光の影響（Ｐｏｌａｒｉｚａｔｉｏｎ ｉｎｆｌｕｅｎｃｅ ｏｎ ｉｍａｇｉｎｇ）」、Ｊ．Ｍｉｃｒｏｌｉｔｈ．、Ｍｉｃｒｏｌａｂ．、Ｍｉｃｒｏｓｙｓｔ．４（３）（２００５年７月～９月）、０３１１０８－１～０３１１０８－１５ページ
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【００１８】
従って、本発明の１つの目的は、光学系の少なくとも１つの欠陥を補償する方法及び装置を提供し、かつ従来技術の問題の少なくとも一部分を回避することである。
【課題を解決するための手段】
【００１９】
本発明の第１の態様により、請求項１に記載の方法を提供する。実施形態において、光学系の少なくとも１つの欠陥を補償する方法は、少なくとも１つの欠陥が少なくとも部分的に補償されるように、光学面のうちの１つの上にパターン要素を持たない光学系の少なくとも１つの光学要素内に少なくとも１つの局所持続性修正配置を導入する段階を含む。
【００２０】
本発明の方法は、光学要素の特定の光学特性の定められた変化を局所的に生成するために、光学要素に対して如何に局所的に影響を及ぼすかの知識に基づいている。従って、光学要素の光学特性は、光学要素内への１つ又はそれよりも多くの局所持続性修正配置の導入によって制御された方式で修正することができる。光学要素の修正された特性は、この光学要素、並びに光学系の更に別の光学要素の欠陥を少なくとも部分的に補償する。この処理は、局所持続性修正配置の導入が光学要素内にいずれかの他の欠陥をもたらすことのないように制御することができる。
【００２１】
更に別の態様において、少なくとも１つの欠陥は、光学系の少なくとも１つの光学要素の局所偏光変化及び／又は光学系の少なくとも１つの光学要素の局所強度変化を含む。
【００２２】
定めた方法は、光学系の光学要素のいくつかのタイプの欠陥を補償することができる。先の段落では２つの例示的な欠陥を示している。
【００２３】
更に別の態様において、少なくとも１つの光学要素の少なくとも１つのインタフェース及び／又は少なくとも１つのコーティング上での光学ビームの少なくとも１つの局所反射率変化及び／又は少なくとも１つの局所透過率変化が、光学系内の光学ビームの局所強度変化を引き起こす。
【００２４】
これらの欠陥は、光学要素の製造工程の限られた完全性に起因して発生する可能性がある。これらの欠陥は、例えば、高い強度を有する光学ビームと周囲の空気中に存在する粒子との相互作用の結果として光学要素の作動中に悪化する可能性がある。更に、光学系がフォトリソグラフィ投影露光系である例では、光学ビームの局所偏光変化及び／又は光学ビームにわたる強度変化は、支配的な状態における強度（ＩＰＳ）の低下をもたらし、それによってフォトリソグラフィマスクの特徴要素がウェーハ上のフォトレジスト内に生成する像コントラストが低下する。
【００２５】
更に別の態様において、少なくとも１つの光学要素の複屈折分布は、光学系内の光学ビームの局所偏光変化を引き起こす。
【００２６】

定めた方法は、様々な原因から引き起こされる偏光変化を補償することができる。更に、本方法は、光学要素の材料の固有複屈折又は材料複屈折からもたらされる偏光変化を補償することができる。

【００２７】

更に、説明する方法は、光学要素の装着によって引き起こされる光学要素内の歪み又は応力によって誘起される複屈折を補償することを可能にする。これに加えて、定めた方法は、光学要素の寿命中の重力及び／又は光学要素の経年変化に根源を有する欠陥の補償を可能にする。

【００２８】

別の態様は、少なくとも１つの局所持続性修正配置を少なくとも１つの光学要素の光学的有効区域内に導入する段階、少なくとも１つの局所持続性修正配置を少なくとも１つの光学要素の光学的有効区域の外側に導入する段階、及び／又は少なくとも１つの第１の局所持続性修正配置を少なくとも１つの光学要素の光学的有効区域内に導入し、少なくとも１つの第２の局所持続性修正配置を少なくとも１つの光学要素の光学的有効区域の外側に導入する段階を更に含む。

【００２９】

光学的有効区域という表現は、光学要素のうちで光学ビームの光子がその上に入射する区域を意味する。光学要素の全ての他の部分区域は、光学要素の光学的有効区域の外側の区域である。

【００３０】

局所持続性修正を光学要素のうちで光学ビームの透過及び／又は反射に有効ではない区域内に導入することにより、欠陥の補償は、ビームの光路を最小限にしか妨害しない。

【００３１】

別の態様において、少なくとも１つの第１の光学要素が、少なくとも１つの第１の欠陥を含み、光学系の少なくとも１つの第２の光学要素が、この少なくとも１つの第１の欠陥を含み、この少なくとも１つの第１の光学要素が、少なくとも１つの第２の欠陥を含み、及び／又はこの少なくとも１つの第２の光学要素が、この少なくとも１つの第２の欠陥を含む。

【００３２】

上記に定めた方法は、いくつかのタイプの欠陥の補償を可能にする。局所持続性修正配置は、それぞれの欠陥タイプに特化して設計することができる。特定の特徴を有する２つ又はそれよりも多くの局所持続性修正配置を光学系の単一光学要素内に導入することにより、光学系の２つ又はそれよりも多くの異なる欠陥タイプを同時に補償することができる。

【００３３】

単一光学要素の１つ又はいくつかの局所持続性修正配置が、全体光学系のいくつかの光学要素にわたって配分されたいくつかのタイプの欠陥を補償することができることが、定めた方法の利点である。更に、光学系の複雑さを増すことになる光学系内に追加光学要素を挿入することが不要である。

【００３４】

局所持続性修正配置は、光学要素の光学的有効区域内に局所歪み分布を誘起するために使用することができる。それによって光学要素の光学的有効区域にわたる偏光変化の依存性を補償することができる。更に、光学要素の光学的有効区域内に局所散乱分布を誘起するために、別の局所持続性修正配置を適用することができる。それによって光学要素の光学的有効区域にわたる光学ビームの強度変化を補正することが可能になる。

【００３５】

更に、定めた方法は、欠陥を補償するのに２つ又はそれよりも多くの光学要素を加担させず、特にその相対的な向きの変更を伴わないので、光学系を形成する光学要素の収差のような他の欠陥の補償に向けて確保された最適化自由度を費やすことはない。

【００３６】

定めた方法の適用は、光学系の波長を制限しない。定めた方法は、電磁スペクトルの赤外線（ＩＲ）範囲から可視範囲を横切って紫外（ＵＶ）範囲に達する幅広いスペクトル範囲を有効範囲する光学系の光学要素に適用することができる。

【００３７】

別の態様において、少なくとも１つの局所持続性修正配置を導入する段階は、超短レーザパルスを少なくとも１つの光学要素に印加する段階を含む。

【００３８】

超短レーザパルスは、好ましくは、ピコ秒範囲及び／又はフェムト秒範囲にパルス長を有するレーザパルスを含む。好ましくは、超短レーザパルスの生成には、可視波長領域、又はその近くで作動するレーザ系が使用される。

【００３９】

別の態様は、局所偏光変化を補償するための少なくとも１つの第１のパラメータセットを有し、及び／又は局所強度変化を補償するための少なくとも１つの第２のパラメータセットを有する超短レーザパルスを印加する段階を更に含む。

【００４０】

光学系の強度変化の補償後に、局所強度補償の結果として発生する損失を補償するために、光学系を通過するビームの光学強度を高める必要がある場合がある。

【００４１】

更に別の態様は、少なくとも１つの第１のパラメータセットを有する超短レーザパルスを少なくとも１つの光学要素の光学的有効区域に及び／又は少なくとも１つの光学要素の光学的有効区域の外側に印加する段階、及び／又は少なくとも１つの第２のパラメータセットを有する超短レーザパルスを少なくとも１つの光学要素の光学的有効区域に印加する段階を含む。

【００４２】

別の態様により、少なくとも１つの第１のパラメータセットを有する超短レーザパルスが、少なくとも１つの光学要素の材料の局所密度変化を誘起し、及び／又は少なくとも１つの第２のパラメータセットを有する超短レーザパルスが、少なくとも１つの光学要素の材料の構造変化を誘起する。

【００４３】

更に別の態様において、少なくとも１つの第１のパラメータセットを有する超短レーザパルスが、少なくとも１つの局所持続性修正配置の区域のピクセルと呼ぶ不連続局所修正を誘起し、少なくとも１つの第２のパラメータセットを有する超短レーザパルスが、少なくとも１つの局所持続性修正配置の区域の連続局所修正を誘起する。

【００４４】

本出願の関連では、局所持続性修正配置は、ピクセルと呼ぶ１つ又はそれよりも多くの局所不連続修正、又はそれぞれの局所持続性修正配置の区域の連続局所修正、又は両方のタイプの修正の組合せを含む。

【００４５】

更に有益な態様は、少なくとも１つの局所持続性修正配置によって誘起された歪みが光学系の局所偏光変化を少なくとも部分的に補償するように少なくとも１つの局所持続性修正配置を選択する段階を含む。

【００４６】

更に別の態様により、少なくとも１つの局所持続性修正配置は、光学的有効区域内及び／又は光学的有効区域の外側に導入され、及び／又は少なくとも１つの第１の局所持続性修正配置が、少なくとも１つの光学要素の光学的有効区域内に導入され、かつ少なくとも１つの第２の局所持続性修正配置が、少なくとも１つの光学要素の光学的有効区域の外側に導入される。

【００４７】

歪み分布は、歪みによって引き起こされる光学ビームの局所リターデーション変化をもたらす。局所持続性修正配置によって局所的に誘起される歪みを注意深く制御することに

より、光学偏光の変化が少なくとも部分的に補償される。

【００４８】

光学的有効区域の外側の区域内への局所持続性修正の導入は精密に制御することができ、従って、この導入は、光学要素の材料の光学特性の局所劣化をもたらさない。これに加えて、この場合に、光学要素の光学的有効区域内の偏光変化を補償するのに遠くまで届く歪み効果しか使用されず、従って、光学要素の光学的有効区域内での他の光学特性の修正を除外することができる。

【００４９】

別の態様は、少なくとも１つの局所持続性修正配置によって誘起される散乱が、光学系の局所強度変化を少なくとも部分的に補償するように少なくとも１つの局所持続性修正配置を選択する段階を更に含む。更に別の態様において、少なくとも１つの局所持続性修正配置が、光学的有効区域内に導入される。

【００５０】

更に有益な態様は、光学系の局所偏光変化と局所強度変化を同時に補償するように少なくとも１つの局所持続性修正配置を選択する段階を更に含む。

【００５１】

更に別の態様は、少なくとも１つの第１の光学要素の少なくとも１つの第１の欠陥、光学系の少なくとも１つの第２の光学要素の少なくとも１つの第１の欠陥、光学系の少なくとも１つの第２の光学要素の少なくとも１つの第２の欠陥、及び／又は少なくとも１つの第１の光学要素の少なくとも１つの第２の欠陥を少なくとも１つの第１の光学要素内の少なくとも１つの局所持続性修正配置を用いて補償する段階を更に含む。

【００５２】

更に別の態様は、少なくとも１つの光学持続性修正配置を少なくとも１つの光学要素の強度変化測定、偏光測定、及び／又は複屈折測定から、及び／又は光学系の強度変化測定、偏光測定、及び／又は複屈折測定から決定する段階を更に含む。

【００５３】

定めた方法を使用して、単一光学要素によって引き起こされる偏光変化及び／又は強度変化を測定することも可能である。測定された偏光変化及び／又は強度変化から、偏光変化及び強度変化をかなりの程度まで補償する少なくとも１つの局所持続性修正配置を計算することができる。次に、次の段階では、決定された局所持続性修正配置は、光学要素の光学的有効区域内及び／又は光学的有効区域の外側の区域内に導入される。個々に補償された光学要素のみを含む光学系を構成することができる。

【００５４】

これに代えて、全体光学系の欠陥、すなわち、光学系の１つの更に別の光学要素、一部の更に別の光学要素、又は全ての他の光学要素上で得られる欠陥を補償する１つの光学要素を有する光学系を構成することができる。解説した２つの代替法の間の手法、すなわち、第１の光学要素内の第１の局所持続性修正配置を用いて光学系の欠陥の一部分を補償し、かつ光学系の第２の光学要素内の第２の局所持続性修正配置を用いて光学系の欠陥の第２の部分を補償する手法を使用することも可能である。

【００５５】

別の態様は、少なくとも１つの光学要素の少なくとも１つの第１の層内に少なくとも１つの第１の局所持続性修正配置を導入し、少なくとも１つの第２の層内に少なくとも１つの第２の局所持続性修正配置を導入する段階を更に含む。

【００５６】

光学要素内のそのような局所持続性修正配置は、局所持続性修正の導入における柔軟性を高める。その一方、そのような装置は、異なる欠陥の補正又は補償に向けて局所持続性修正配置を導入することを好都合に可能にする。更に、そのような装置は、超短レーザパルスで光学要素を損傷する危険を冒すことなく、光学要素の光学特性の定められた重要な修正を実施することを可能にする。

【００５７】

更に別の態様により、第１の層及び第２の層は、光学要素の２つの対向する光学面の間の中心に位置する平面の周りに配置される。

【００５８】

局所持続性修正のこの種の配置は、光学要素内に曲げ力を全く又はほぼ全く誘起しない。

【００５９】

更に別の態様により、局所持続性修正は、光学要素の対称平面の周りに位置付けることができ、それらが光学要素の幾何学中心に対して対称に位置する場合に、光学要素の面の近くにさえも位置付けることができる。これに代えて、更に別の態様により、局所持続性修正は、光学要素の曲げを回避するために全ての曲げ力が相殺又は補償されるように配置することができる。

【００６０】

更に別の態様において、少なくとも１つの局所持続性修正配置は、少なくとも２つの異なるタイプの局所持続性修正を含む。

【００６１】

更に別の態様において、少なくとも１つの第１のパラメータセットを有する超短レーザパルスが、少なくとも１つの光学要素内に少なくとも１つの第１のタイプの局所持続性修正を導入し、少なくとも１つの第２のパラメータセットを有する超短レーザパルスが、少なくとも１つの光学要素内に少なくとも１つの第２のタイプの局所持続性修正を導入する。

【００６２】

この特徴は、光学系の単一光学要素内で光学系の２つの異なるタイプの欠陥の同時補正又は同時補償を可能にする。

【００６３】

更に別の態様において、以下の表は、光学要素の材料の光学特性及び機械的特性に影響を及ぼす局所持続性修正の生成において有利なレーザビームパラメータの範囲を紹介するものである。

【００６４】

（表１）

表１：代表的なレーザビームパラメータの数値

概要		
パラメータ	数値	単位
パルスエネルギー	0.01～5	μJ
パルス長	0.05～100	ps
繰り返し率	1～10 000	kHz
パルス密度	1 000～10 000 000	mm^{-2}
NA	0.1～0.9	
波長	350～1500	nm

【００６５】

更に別の態様において、表２は、光学要素の材料歪みの有効な制御に向けて局所持続性修正を書き込む機能を与える第１のレーザビームパラメータセット（標準ＰＷ（処理ウィンドウ）と呼ぶ）を指定するものである。

【００６６】

（表２）

表２：標準処理ウィンドウにおけるＮｄ－ＹＡＧレーザ系に関する代表的なレーザビームパラメータの数値

Std PW（標準処理ウィンドウ）		
パラメータ	数値	単位
パルスエネルギー	0.45	μJ
パルス長	8	ps
パルス密度	1 000～100 000	mm^{-2}
NA	0.3	
波長	532	nm

【００６７】

更に別の態様において、表３は、材料内に有意な歪みを誘起することなく、光学要素の材料透過率の有効な制御のための持続性局所修正の書込に関する第２のレーザビームパラメータセット（Ｌｏｗ　Ｒｅｇ　ＰＷと呼ぶ）を定めるものである。

【００６８】

（表３）

表３：低精度位置合わせ処理ウィンドウ（Ｌｏｗ　Ｒｅｇ　ＰＷ）におけるＮｄ－ＹＡＧレーザ系に関する代表的なレーザビームパラメータの数値

Low Reg PW（低精度位置合わせ処理ウィンドウ）		
パラメータ	数値	単位
パルスエネルギー	0.32	μJ
パルス長	8	ps
繰り返し率	50 000	kHz
パルス密度	5 000～500 000	mm^{-2}
NA	0.3	
波長	532	nm

【００６９】

更に別の態様は、表４において、有意な光減衰及び／又は光散乱を誘起することなく、光学要素の材料の収縮のためのフォトリソグラフィマスクの書込に関する第３のレーザビームパラメータセット（ピクセルなしＰＷと呼ぶ）を指定するものである。

【００７０】

（表４）

表４：材料収縮（ピクセルなしＰＷ）のためのＮｄ－ＹＡＧレーザ系に関する代表的なレーザビームパラメータの数値

ピクセルなし書込		
パラメータ	数値	単位
パルスエネルギー	0. 01～0.10	μJ
パルス長	0.05	ps
パルス密度	5 000 000～100 000 000	mm^{-2}
NA	0.3	
波長	532	nm

【００７１】

表２に示すレーザビームパラメータセットを使用するピクセル書込と、表３に示すレーザビームパラメータセットを使用するピクセル書込との組合せは、異なるタイプの誤差の補正、更に、異なる誤差の組合せの補正のための明確な手法をもたらす。

【００７２】

特定の補正アクション又は最適な補正アクションを達成するために、上記に指定したレーザビームパラメータセットを調整するか又は組み合わせることができる。

【００７３】

別の有益な態様は、少なくとも１つの欠陥を最大範囲で補償する少なくとも１つの局所持続性修正配置を導入するための光学系の光学要素を選択する段階を更に含む。

【００７４】

光学系内の光学ビームに沿って、他の光学要素よりも検出を補償するのに適する光学要素が存在する可能性がある。これは、これらの光学要素が、光学的有効区域内に他の光学要素よりも小さい歪み及び／又は小さい局所散乱しか導かない局所持続性修正配置を用いて欠陥を補償することができることを意味する。記述した方法は、この目的に最適な局所持続性修正配置の導入のための光学要素の選択を可能にする。

【００７５】

別の態様は、光学系の少なくとも２つの光学要素をこれらの少なくとも２つの光学要素の各々内への少なくとも１つの局所持続性修正配置の導入に向けて選択する段階を更に含む。

【００７６】

この場合に、これらの局所持続性修正配置は、これらの配置の組合せ効果が、全体光学系の少なくとも１つの欠陥を補償するように選択される。

【００７７】

別の態様は、少なくとも１つの局所持続性修正配置をフォトリソグラフィ投影露光系の照明系の視野平面の隣に配置された照明系の光学要素内に導入する段階、及び／又は少なくとも１つの局所持続性修正配置を照明系の視野平面と瞳平面の間に配置された照明系の光学要素内に導入する段階を更に含む。

【００７８】

更に別の態様は、少なくとも１つの局所持続性修正配置を欠陥を最大範囲で補償する位置に有する少なくとも１つの追加光学要素を光学系内に挿入する段階を更に含む。

【００７９】

この手法は、光学系の光学要素を修正することを必要としない。１つ又はいくつかの追加光学要素を必要に応じて挿入することができる１つ又はいくつかの位置を光学系内に意図することができる。

【００８０】

別の態様は、少なくとも１つのリターデーション補償構成要素内に少なくとも１つの局所持続性修正配置を導入する段階を更に含み、少なくとも１つのリターデーション補償構成要素は、光学系内に追加で挿入されるものである。

【００８１】

更に別の態様において、光学系内で最大の欠陥補償効果を有する位置に少なくとも１つの偏光補償構成要素が配置される。

【００８２】

光学系の欠陥の補償に向けて個別の偏光補償構成要素を使用することにより、この偏光補償構成要素は、欠陥を最適に補償することができ、かつ一方で光学ビームの経路に対して最小の効果のみを有する光学系の位置に配置することができる。この手法は、異なる作動条件のための容易に交換することができる様々な偏光補償構成要素を設けることにより、光学系の作動中に変化する可能性がある欠陥の柔軟な補償を可能にする。

【００８３】

更に別の態様により、光学系は、望遠鏡系、顕微鏡系、及び／又は投影系を含む。別の態様において、顕微鏡系は、位相差顕微鏡を含み、及び／又は投影系は、フォトリソグラフィ投影露光系を含む。

【００８４】

本発明の方法の適用は、フォトリソグラフィ投影露光系の照明放射線の波長内に限定されない。好ましくは、本発明の方法は、紫外（ＵＶ）波長領域、特にＤＵＶ範囲の電磁放射線を使用する投影露光系に適用することができる。

【００８５】

更に別の態様において、偏光補償構成要素は、フォトリソグラフィ投影露光系内でフォ

トリソグラフィ投影露光系の支配的な状態における強度（ＩＰＳ）に対して最大の効果を有する位置に配置される。

【００８６】

更に別の態様において、局所持続性修正配置は、光学系の強度変化補償に使用される減光フィルタ内に導入される。

【００８７】

例えば、典型的に、投影露光系の照明系は、照明系の視野平面である結像平面の近くに、フォトリソグラフィマスクを照明するために使用されるスキャナの光学ビームにわたる照明の不均一性の補償専用の特定の光学要素を有する。この要素は減光フィルタであり、灰色フィルタとも呼ぶ。この光学要素は、局所持続性修正配置を導入することによるリターデーション変化の補償に対する完璧な候補である。その結果、灰色フィルタは、光学ビームにわたる強度変化の補償及びリターデーション変化の補償という両方のタスクを同時に並行して実施することができる。

【００８８】

別の態様において、光学系の強度変化補償のための減光フィルタとして作用する光学要素の光学的有効区域内に少なくとも１つの第１の局所持続性修正配置が導入され、この光学要素の光学的有効区域の外側に少なくとも１つの第２の局所持続性修正配置が導入される。

【００８９】

更に別の態様において、光学系は、フォトリソグラフィ投影露光系の照明系を含む。

【００９０】

別の態様は、調節可能な歪みを少なくとも１つの光学要素に少なくとも１つのアクチュエータを用いて印加する段階を更に含む。更に別の態様は、少なくとも１つの局所持続性修正配置を導入し、調節可能な歪みを少なくとも１つの光学要素内に少なくとも１つのアクチュエータを用いて印加する段階を含む。更に別の態様において、アクチュエータは圧電要素を含む。

【００９１】

局所持続性修正配置を含む光学要素に１つ又はいくつかのアクチュエータを取り付けることにより、調節可能な歪みを光学要素に追加的に印加することができる。アクチュエータは、例えば、投影露光系の温度ドリフト又は湿度変化によって引き起こされる偏光変化を補償するために使用することができる。更に、アクチュエータによって印加される追加の経時的な歪みは、投影露光系の光学要素の経年変化要素を補償するために使用することができる。

【００９２】

別の態様により、局所持続性修正配置は、光学系の少なくとも１つの欠陥を網羅的に補償する段階を含む。

【００９３】

この手法は、例えば、ＤＵＶ波長領域のための光学要素の製作に使用される材料の固有複屈折又は材料複屈折を補償するために使用することができる。ＩＰＳ（支配的な状態における強度）損失は、光学系又は投影露光系の光学要素内の光学ビームのリターデーションの二乗に比例するので、光学要素又は光学要素群の材料複屈折によって誘起される偏光変化の主要部分を個々の光学要素に対する固有複屈折の効果を詳細に解析することなしに補償することができる。従って、特定のタイプの光学系の誘導偏光変化を各個々の光学系の材料複屈折の効果を解析する必要なく少なくとも部分的に補償することができる。

【００９４】

別の態様は、光学系の各光学要素を補償する段階を更に含む。

【００９５】

この手法は、実質的に欠陥のない光学要素又は光学構成要素のみを含む光学系の構成を可能にする。これは、例えば、フォトリソグラフィ投影露光系が、複屈折補償された光学要素のみを含むことを意味する。更に、設置位置に依存する重力効果によって誘起される

複屈折を補償することができる。

【００９６】

更に、異なる態様は、光学系の各光学要素を測定する段階を更に含む。更に別の態様において、光学要素はレンズを含む。

【００９７】

別の態様は、光学要素に歪みを印加することによって光学要素の少なくとも１つの欠陥を補償する段階を含む。更に別の態様において、歪みを印加する段階は、光学要素に時間非依存の歪みを印加する段階、及び／又は時間依存の歪みを印加する段階を含む。更に別の態様は、少なくとも１つの局所持続性修正配置を導入することによって時間非依存の歪みを印加する段階を含む。更に別の態様は、少なくとも１つのアクチュエータを使用することによって時間依存の歪みを少なくとも１つの光学要素内に印加する段階を含む。

【００９８】

更に別の態様において、光学要素の少なくとも１つの欠陥の測定段階と光学要素の少なくとも１つの欠陥を補償する段階とは、組合せ装置内で行われる。別の有益な態様において、組合せ装置は、偏光計と超短レーザパルスの生成のためのレーザ光源とを含む。

【００９９】

最新の光学系に対しては、典型的に、光学系の各光学要素を光学系内へのその挿入の前に解析又は制御しなければならない。その結果、解析労力を過度に増加させることなく、光学欠陥の測定を光学要素の制御と組み合わせることができる。特に欠陥の測定とその補償とが単一のデバイス又は装置に組み合わされる場合に、欠陥補償を最適化することができる。

【０１００】

更に別の態様において、少なくとも１つの光学要素の少なくとも１つの欠陥を補償する段階は、少なくとも１つ局所持続性修正配置を導入し、少なくとも１つの光学要素にアクチュエータを用いて歪みを印加する段階を含む。

【０１０１】

別の態様により、少なくとも１つの光学要素の少なくとも１つの欠陥は、この少なくとも１つの光学要素の製作現場において少なくとも１つの光学要素の製作工程の終了時に補償される。

【０１０２】

光学要素の製作工程の少なくとも終了時には、光学要素がその定められた規格を満たすか否かを制御しなければならない。規格は、歪み誘起複屈折を含むことができる。歪み誘起複屈折の数値は、光学要素を自身の光学系内に挿入する利用者が供給することができる。従って、光学要素の製造業者は、利用者の光学要素の歪み誘起複屈折を補償するのに必要な歪み分布を決定し、それぞれの歪み分布をこの光学要素に適用する。

【０１０３】

有益な態様において、少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つの追加光学要素は、光学系内のビーム伝播方向の回りに回転対称ではない少なくとも１つの局所持続性修正配置を含む。

【０１０４】

別の有益な態様は、欠陥補償が最大にされるように少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つの追加光学要素をビーム伝播方向の回りに回転させることによって少なくとも１つの光学欠陥を補償する段階を更に含む。

【０１０５】

この手法は、光学要素の補償効果を欠陥に対して調節することができるので、欠陥補償手順に更に別の自由度を導入する。

【０１０６】

更に別の態様において、少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つの追加光学要素は、これらの少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つの追加光学要素のビーム伝播方向に対して垂直な平面に配分された異なる局所持続性修正配置を有する少

なくとも２つの欠陥補償区域を含む。

【０１０７】

様々な欠陥又は異なる強度を有する１つの欠陥タイプの補償に向けて光学要素又は追加光学要素を準備することにより、光学要素の最適な向きを決定するだけでよいので、欠陥補償処理を最適化することができる。

【０１０８】

更に別の態様は、少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つの追加光学要素の欠陥補償区域が光学系の透明開口に位置合わせするように、少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つの追加光学要素をビーム伝播方向の回りに回転させる段階を更に含む。

【０１０９】

フォトリソグラフィ投影露光系の照明系の透明開口は、一般的に楕円形のものであり、透明開口の区域は、光学要素又は追加光学要素の光学的有効区域よりも小さい。この状況は、様々な欠陥補償区域を有する光学要素及び／又は追加光学要素の製作を可能にする。

【０１１０】

別の態様により、少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つの追加光学要素の少なくとも２つの欠陥補償区域は、ビーム伝播方向の回りの定められた回転角で配置される。

【０１１１】

更に別の態様において、少なくとも２つの欠陥補償区域は、異なる欠陥強度を有する１タイプの欠陥を補償する局所持続性修正配置を含む。更に別の態様において、少なくとも２つの欠陥補償区域は、２つの異なるタイプの欠陥を補償する局所持続性修正配置を含む。別の有益な態様により、少なくとも２つの欠陥補償区域は、異なる欠陥強度を有する異なるタイプの欠陥を補償する局所持続性修正配置を含む。

【０１１２】

更に別の態様は、光学系の作動中に少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つの追加光学要素を回転させる段階を含む。

【０１１３】

更に別の態様において、少なくとも１つの光学要素は、フォトリソグラフィ投影露光系の照明系のレンズを含み、少なくとも１つの追加光学要素は欠陥補償板を含む。

【０１１４】

上述したように、フォトリソグラフィ露光投影系のスキャナの照明系は、一般的に光学要素及び／又は追加光学要素の光学的有効区域の一部分のみを用い、その使用部分は、一般的に楕円形状を有する。この部分を透明開口と呼ぶ。従って、単一光学要素は、異なるタイプの光学欠陥を補償し、及び／又は様々な欠陥強度をもたらす単一の欠陥を補償するために使用することができる２つ又はそれよりも多くの欠陥補償区域を有することができる。光学要素及び／又は追加光学要素をビーム伝播方向の回りに回転させることにより、光学要素及び／又は追加光学要素の欠陥補償効果を最適化することができる。

【０１１５】

有益な態様は、少なくとも１つの欠陥が最大範囲で補償されるように、少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つの光学要素を光学系内のビーム伝播方向に沿ってシフトさせる段階を更に含む。別の態様は、フォトリソグラフィ投影露光系の視野平面と瞳平面の間における少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つの追加光学要素のシフト段階を含む。更に別の態様において、少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つの追加光学要素のシフト段階は、フォトリソグラフィ投影露光系の照明系の視野平面と瞳平面の間のシフト段階を含む。更に別の態様により、照明系はレチクルマスキング対物系を含む。

【０１１６】

照明系では、歪み誘起複屈折は、典型的に視野依存性、並びに瞳依存性を示す。歪み誘起複屈折の補償に使用される光学要素及び／又は追加光学要素をシフトさせることにより

、欠陥補償効果を視野、並びに瞳への欠陥の依存性に対して調節することができる。この手順は、光学系における欠陥補償効果を最大にする。

【０１１７】

更に別の態様において、少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つの光学要素は、複屈折分布を含む。

【０１１８】

別の態様は、少なくとも１つの局所持続性修正配置を少なくとも１つの光学要素の面輪郭に対して一定の深さに導入する段階を更に含む。

【０１１９】

更に別の態様は、少なくとも２つの異なる局所持続性修正配置を少なくとも１つの光学要素の様々な深さに導入する段階を含む。

【０１２０】

光学的に「厚肉」の光学要素では、光線の一部分は、光学要素の光軸と平行に光学要素を通らない。厚肉光学要素内に均一なピクセル配置を導入する際に、光軸に対して非ゼロの角度を有する光学要素を通過する光線は、歪み誘起複屈折の速軸の成分を「見る」。ピクセル配置を一定の深さで光学要素の面輪郭を辿るように光学要素内に導入することにより、誘起複屈折分布の速軸は、光軸と平行な歪み誘起複屈折の成分を補償する光軸と平行なベクトル成分を取得する。光学要素の様々な深さへの異なるピクセル配置の導入も、光軸と平行な「厚肉」光学構成要素の歪み誘起複屈折の成分を補償することができる。

【０１２１】

別の態様において、ビーム伝播方向に沿った少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つ光学要素のシフト段階は、これらの少なくとも１つの光学要素及び／又は少なくとも１つ光学要素による光学系の複屈折分布の補償を変化させる。

【０１２２】

更に別の態様により、光学面のうちの１つの上にパターン要素を持たず、光学系の少なくとも１つの欠陥を補償するための光学要素は、少なくとも１つの欠陥を少なくとも部分的に補償する少なくとも１つの局所持続性修正配置を含む。

【０１２３】

別の態様において、光学要素の光学的有効区域は、少なくとも１つの局所持続性修正配置を含み、かつ光学的有効区域の外側の区域は、少なくとも１つの局所持続性修正配置を含み、及び／又は光学的有効区域は、少なくとも１つの第１の局所持続性修正配置を含み、かつ光学的有効区域の外側の区域は、少なくとも１つの第２の局所持続性修正配置を含む。

【０１２４】

更に別の態様において、光学要素は、光学系内に追加的に挿入される追加光学要素である。別の態様において、追加光学要素は結像特性を含まない。

【０１２５】

更に別の態様により、少なくとも１つの第１の光学要素は、少なくとも１つの第１の欠陥を含み、及び／又は光学系の少なくとも１つの第２の光学要素は、少なくとも１つの第１の欠陥を含み、及び／又は少なくとも１つの第２の光学要素は、少なくとも１つの第１の欠陥を含み、及び／又は少なくとも１つの第２の光学要素は、少なくとも１つの第２の欠陥を含む。

【０１２６】

別の態様により、光学要素及び／又は追加光学要素は、光学系内で少なくとも１つの欠陥を最大範囲で補償する位置に配置される。

【０１２７】

更に別の態様において、光学要素及び／又は追加光学要素は、フォトリソグラフィ露光投影系内のこの投影系の支配的な状態における強度（ＩＰＳ）に対して最大の効果を有する位置に配置される。

【０１２８】

別の態様により、光学要素及び／又は追加光学要素は、フォトリソグラフィ投影露光系内でのこの露光系の支配的な状態における強度（ＩＰＳ）に対して最大の効果を有する位置に配置されたリターデーション補償要素を含む。

【０１２９】

更に別の態様において、光学要素及び／又は追加光学要素は、偏光補償構成要素を含む。

【０１３０】

更に別の態様において、追加光学要素はリターデーション補償要素を含む。

【０１３１】

更に別の態様において、リターデーション補償要素は、フォトリソグラフィ投影露光系の照明系の瞳平面及び／又は視野平面に配置される。

【０１３２】

更に別の態様において、光学要素は、フォトリソグラフィ投影露光系の照明系の強度変化補償に使用される減光フィルタを更に含む。

【０１３３】

更に別の態様において、光学要素及び／又は追加光学要素は、更に、上述の態様のうちのいずれかに従う方法を実行するようになっている。

【０１３４】

別の態様において、光学系の少なくとも１つの欠陥を補償するための装置は、（ａ）光学系の少なくとも１つの欠陥を決定するようになった測定ユニット、（ｂ）光学系の少なくとも１つの欠陥から少なくとも１つの局所持続性修正配置を決定するようになった演算ユニット、及び（ｃ）その面のうちの１つの上にパターン要素を持たない光学系の少なくとも１つの光学要素内に少なくとも１つの局所持続性修正配置を導入するようになった光源を含む。

【０１３５】

更に別の態様において、測定ユニットは偏光計を含む。

【０１３６】

偏光計又は自動化偏光計は、典型的に、光学系を形成する光学要素又は光学要素群の歪み誘起複屈折分布を決定するのに使用される。

【０１３７】

有益な態様により、測定ユニットと光源は、単一デバイスに組み合わされる。

【０１３８】

別の態様において、測定ユニットと光源とを含む組合せデバイスは、演算ユニットを更に含む。更に別の態様において、光源は、超短レーザパルスを発生させるようになったレーザ光源を含む。最後に、更に別の態様において、演算ユニットは、測定ユニットと光源とを含む組合せデバイスを更に制御する。

【０１３９】

本発明をより明快に理解してその実際の用途を理解するために、以下の図を提供して下記で参照する。これらの図は、例示的にのみ提供したものであり、決して本発明の範囲を限定しないことに注意しなければならない。

【図面の簡単な説明】

【０１４０】

【図１】フォトリソグラフィ投影露光系の基本的な構成要素を示す概略図である。

【図２ａ】フォトリソグラフィマスクの平面内で解析された直線偏光光学ビームのＤＵＶ投影露光系の照明系のリターデーションの分布を照明系の焦点面の視野又は視界の左部分に対して示す図である。

【図２ｂ】フォトリソグラフィマスクの平面内で解析された直線偏光光学ビームのＤＵＶ投影露光系の照明系のリターデーションの分布を照明系の焦点面の視野又は視界の中心部分に対して示す図である。

【図２ｃ】フォトリソグラフィマスクの平面内で解析された直線偏光光学ビームのＤＵＶ

投影露光系の照明系のリターデーションの分布を照明系の焦点面の視野又は視界の右部分に対して示す図である。
【図３】光学要素内に局所持続性修正配置を導入するための装置の略ブロック図である。
【図４ａ】光学要素の材料複屈折を表す概略図であって光学要素にわたる速軸の向きを示す図である。
【図４ｂ】光学要素の材料複屈折を表す概略図であって光学要素のリターデーションの大きさを示す図である。
【図５】図４の光学要素の光学的有効区域（内側の黒色区域）及び局所持続性修正配置の導入のために使用される区域（灰色の区域）の図である。
【図６ａ】第１の書込モードのモード署名を示す図である。
【図６ｂ】光学的有効区域の外側での光学透過率の変化のシミュレーションを示す図である。
【図６ｃ】誘起複屈折の速軸の分布のシミュレーションを示す図である。
【図６ｄ】誘起複屈折の大きさの分布のシミュレーションを表す図である。
【図７ａ】第２の書込モードのモード署名を示す図である。
【図７ｂ】光学的有効区域の外側での光学透過率の変化のシミュレーションを示す図である。
【図７ｃ】誘起複屈折の速軸の分布のシミュレーションを示す図である。
【図７ｄ】誘起複屈折の大きさの分布のシミュレーションを表す図である。
【図８ａ】第１の書込モードのピクセルによって誘起された複屈折と第２の書込モードのピクセルによって誘起された複屈折とを組み合わせた後の図４ａに示す速軸の残留分布を示す図である。
【図８ｂ】第１の書込モードによって誘起された複屈折と第２の書込モードによって誘起された複屈折とを組み合わせた後の図４ｂのリターデーションの大きさの残留分布を示す図である。
【図９ａ】石英板の固有複屈折の速軸分布を表す図である。
【図９ｂ】石英板の中心部分の抜粋図である。
【図９ｃ】中心領域のリターデーションの大きさの分布を示す図である。
【図１０ａ】第１の書込モードのモード署名を示す図である。
【図１０ｂ】光学的有効区域の外側における光学透過率変化のシミュレーションを示す図である。
【図１０ｃ】誘起複屈折の速軸の分布のシミュレーションを示す図である。
【図１０ｄ】誘起複屈折の大きさの分布のシミュレーションを表す図である。
【図１１ａ】第２の書込モードのモード署名を示す図である。
【図１１ｂ】光学的有効区域の外側における光学透過率の変化のシミュレーションを示す図である。
【図１１ｃ】誘起複屈折の速軸の分布のシミュレーションを示す図である。
【図１１ｄ】誘起複屈折の大きさの分布のシミュレーションを表す図である。
【図１２ａ】第１の書込モードのピクセルによって誘起された複屈折と第２の書込モードのピクセルによって誘起された複屈折とを組み合わせた後の図４ａに示す速軸の残留分布を示す図である。
【図１２ｂ】第１の書込モードによって誘起された複屈折と第２の書込モードによって誘起された複屈折とを組み合わせた後の図４ｂのリターデーションの大きさの残留分布を示す図である。
【図１３】図１の投影露光系の材料複屈折の補償に使用される減光フィルタの上面図である。
【図１４】図１３の減光フィルタの光学的無効区域内に局所持続性修正配置を導入するのに使用される２つのラスターモジュールのモード署名を表す図である。
【図１５】図１４のモード署名を用いた図１３の減光フィルタ内での連続局所持続性修正配置による光学透過率変化の概略図である。

【図１６ａ】速軸の設定を示す概略図である。
【図１６ｂ】図１５に示す連続局所持続性修正配置によって引き起こされるリターデーションの量の設定を示す概略図である。
【図１７ａ】モード署名の大きさをビーム偏光と平行なスリットによって達成される切除レベルの関数として表す図である。
【図１７ｂ】モード署名の大きさをビーム偏光に対して垂直なスリットによって達成される切除レベルの関数として表す図である。
【図１７ｃ】図１３に示すように処理された減光フィルタによるＩＰＳの改善を示す図である。
【図１８】ｘ軸に対して０°の偏光を有する書込ビームに対する６０°の速軸の向きの分布を示す図である。
【図１９ａ】計測された複屈折問題の速軸の向きの分布を示す図である。
【図１９ｂ】図１９ａの計測された複屈折問題のリターデーションの大きさの分布を示す図である。
【図２０ａ】偏光角の分布に関して図２０の複屈折問題を補償する書込マップを示す図である。
【図２０ｂ】リターデーション量の分布に関して図２０の複屈折問題を補償する書込マップを示す図である。
【図２１ａ】２つの異なる層内にピクセル配置を書き込むことによる図２０の複屈折問題の補償における偏光角分布に関する書込マップを示す図である。
【図２１ｂ】２つの異なる層内にピクセル配置を書き込むことによる図２０の複屈折問題の補償におけるリターデーションの大きさの分布に関する書込マップを示す図である。
【図２１ｃ】２つの異なる層内にピクセル配置を書き込むことによる図２０の複屈折問題の補償における偏光角分布に関する書込マップを示す図である。
【図２１ｄ】２つの異なる層内にピクセル配置を書き込むことによる図２０の複屈折問題の補償におけるリターデーションの大きさの分布に関する書込マップを示す図である。
【図２２ａ】合成複屈折問題の速軸の向きの分布を示す図である。
【図２２ｂ】合成複屈折問題のリターデーションの大きさの分布を示す図である。
【図２３】図２２の複屈折問題を補正するためのレーザビームの単独モードのモード署名を示す図である。
【図２４】図２２の複屈折問題の補償に使用される書込マップを示す図である。
【図２５ａ】図２４の書込マップによって誘起される複屈折の速軸分布の向きを示す図である。
【図２５ｂ】図２４の書込マップによって誘起される複屈折のリターデーションの大きさの分布を示す図である。
【図２６ａ】図２４の書込マップによって誘起された複屈折を差し引いた後の図２２の残留複屈折問題を示す図である。
【図２６ｂ】図２４の書込マップによって誘起された複屈折を差し引いた後の図２２の残留複屈折問題を示す図である。
【図２７ａ】図２の複屈折問題の補償のための３つのモード署名のうちの１つを示す図である。
【図２７ｂ】図２７ａのモード署名に関する書込マップを示す図である。
【図２７ｃ】図２の複屈折問題の補償のための３つのモード署名のうちの１つを示す図である。
【図２７ｄ】図２７ｃのモード署名に関する書込マップを示す図である。
【図２７ｅ】図２の複屈折問題の補償のための３つのモード署名のうちの１つを示す図である。
【図２７ｆ】図２７ｅのモード署名に関する書込マップを示す図である。
【図２８】図２７の書込マップによって誘起される複屈折の速軸の向きの分布を示す図である。

【図２９】図２７の３つの書込マップの適用後の図２２の残留複屈折問題を示す図である。
【図３０】光学レンズの光学的有効区域内の複屈折分布（内側の黒色の短線）と、光学的無効区域に印加され、光学的有効区域に向けて延び、光学要素の光学的有効区域内の複屈折を補償する誘導歪み分布（外側の黒色の短線）とをタンジェンシャル複屈折分布に対して左に及びタンジェンシャル半径方向分布に対して右に示す概略図である。
【図３１】左の部分が、半径方向複屈折分布を有する光学要素であり、中央の部分が、複屈折分布の一部分が光学要素の光学的無効部分内の歪み誘起複屈折によって補償されており、右の部分が、光学要素の外側の光学的無効区域内に誘起された歪み分布が光学要素の光学的有効区域内の複屈折を補償している光学要素の光学的活性区域内での複屈折補償処理を示す概略図である。
【図３２】光学系の視野依存ゼルニケZ_3瞳挙動を補償する局所持続性修正配置によって誘起される複屈折分布を有し、フォトリソグラフィ露光系のレチクルマスキング（ＲＥＭＡ）対物系の視野平面の近くに配置された光学要素を表す概略図である。
【図３３】視野依存ゼルニケZ_3瞳挙動を補償し、同時に瞳依存かつ視野非依存のZ_1寄与を生成する局所持続性修正配置によって誘起される複屈折分布を有し、瞳平面とＲＥＭＡ対物系の間に配置された光学要素を示す概略図である。
【図３４】様々な欠陥強度を有する光学系の視野依存ゼルニケZ_3瞳挙動を補償する局所持続性修正配置によって誘起される互いに垂直に向けられた２つの複屈折分布を有し、ＲＥＭＡ対物系の視野平面の近くに配置された光学要素を示す概略図である。
【図３５】視野平面の近く（ａ）からＲＥＭＡ対物系の瞳平面の近く（ｆ）までの追加光学要素のシフトを順次示す概略図である。
【図３６ａ】透明開口にわたる追加光学要素の歪み誘起複屈折のリターデーション変化を図３５で位置ａに示すシフトの関数として示す概略図である。
【図３６ｂ】透明開口にわたる追加光学要素の歪み誘起複屈折のリターデーション変化を図３５で位置ｃに示すシフトの関数として示す概略図である。
【図３６ｃ】透明開口にわたる追加光学要素の歪み誘起複屈折のリターデーション変化を図３５で位置ｅに示すシフトの関数として示す概略図である。
【図３７ａ】薄肉レンズ内の光線を示す概略図である。
【図３７ｂ】厚肉レンズ内の光線を示す概略図である。
【図３８】光軸と平行な歪み誘起複屈折分布の速軸の成分を補償する厚肉レンズ内の局所持続性修正配置を示す概略図である。
【発明を実施するための形態】
【０１４１】
以下では、本発明の例示的実施形態を示した添付図面を参照して本発明をより完全に説明する。しかし、本発明は、異なる形態に実施することができ、本明細書に示す実施形態に限定されると解釈すべきではない。限定されるのではなく、これらの実施形態は、本発明の開示が完全なものになり、本発明の範囲を当業者に伝えることになるように提供するものである。
【０１４２】
以下では、本発明を投影系、特にフォトリソグラフィ投影露光系に関して解説する。しかし、ここで解説するものは、本発明の原理の用途に関する単なる例に過ぎず、本発明をフォトリソグラフィ投影露光系を限定しないことを理解しなければならない。
【０１４３】
図１は、投影露光系１００の基本的な構成要素を示している。レーザ光源１４０が、直線偏光電磁放射線１４５をビーム拡大ユニット１５０内に放出する。ビーム拡大ユニット１５０は、レーザビーム１４５の直径をミリメートル範囲からセンチメートル範囲に増大させる。最新のＤＵＶ投影露光系では、光源としてエキシマレーザ系が使用される。偏光方向は、水平、すなわち、ｘ方向に沿って向けられるか、又は垂直、すなわち、ｙ方向に沿って向けられる。ビーム１４５はｚ方向に伝播する。一般的に、レーザ光源１４０は、

ナノ秒範囲にパルス持続時間を有する光パルス又はレーザパルスを放出する。

【０１４４】

図１の例示的実施形態において、照明系１６０は、第１の光学要素群１６２と、偏向ミラー１６４と、第２の光学要素群１６６とを含む。スキャナのビームスリット（図１には示していない）にわたる強度変化を除去するために、灰色フィルタとも呼ぶ減光フィルタ１７０が、照明系１６０の出口に配置される。減光フィルタ１７０を射出する光ビーム１４５は、ウェーハ上に投影される特徴要素を有するフォトリソグラフィマスク１１０を通過する。マスク１１０を通した光は、投影対物系１８０によって集光され、多くの場合にシリコンウェーハである基板１２０上に配置された感光層１３０上にフォーカスされる。マスク１１０及び基板１２０は投影露光系１００の一部ではないことを強調しておかなければならない。

【０１４５】

フォトリソグラフィマスク１７０は、照明系１６０の視野平面１７５に配置される。点線１６８は、照明系１６０の瞳平面１６８を略示している。

【０１４６】

図１の例示的実施形態において、照明系１６０及び投影系１８０内の光学要素１９０はレンズである。更に、照明系１６０は、少なくとも１つのミラー１６４を含む。投影露光系１００の光学要素１９０は、例えば、フィルタ要素及び／又は回折光学要素（ＤＯＥ）（図１には示していない）を含むことができる。

【０１４７】

与えられた波長で、フォトリソグラフィマスク１１０上の構造に対する投影露光系１００の分解能は、投影対物系１８０が、基板１２０上に施されたフォトレジスト１３０上にフォーカスさせることができる最大伝播角によって実質的に決定される。理論上の伝播角θ_{max}は、投影対物系１８０又は投影系の開口数（ＮＡ）とフォトレジストの屈折率n_Rとから次式に従って得られる（Ｍ．Ｔｏｔｚｅｃｋ他著「結像に対する偏光の影響（Ｐｏｌａｒｉｚａｔｉｏｎ ｉｎｆｌｕｅｎｃｅ ｏｎ ｉｍａｇｉｎｇ）」、Ｊ．Ｍｉｃｒｏｌｉｔｈ．、Ｍｉｃｒｏｌａｂ．、Ｍｉｃｒｏｓｙｓｔ．４（３）（２００５年７月～９月）、０３１１０８－１～０３１１０８－１５ページ）。

$$\vartheta_{max} = arc\sin\frac{NA}{n_R} \qquad (1)$$

【０１４８】

投影露光系１００の分解能を最大にするためには、投影系１８０のＮＡを増大させなければならない。この増大は、１．０よりも大きい開口数（ハイパーＮＡ）を有する光学系の使用を可能にする液浸リソグラフィを使用することによって行うことができる。その一方、電磁波の同一の偏光成分しか干渉しないので、上述したことは、投影露光系１００によるフォトレジスト１３０内へのマスク１１０上の構造の結像に対して、投影露光系１００内に使用される電磁放射線１４５のベクトル性が重要になることを意味する。従って、ウェーハ１２０上のフォトレジスト１３０内でのマスク１１０の特徴構造の像コントラストを決定するのは波面品質だけではない。偏光も、ＤＵＶ投影露光系内で有意な影響を有し、ハイパーＮＡ液浸リソグラフィ系の像品質を決定する。

【０１４９】

投影露光系１００の光学要素１９０内では、インタフェース及びコーティングにおける反射及び透過及び／又は複屈折は、偏光変化に対する最も重要な発生源である。一般性を制限することなく、以下に続く解説は、投影露光系１００を通る経路上におけるレーザビーム１４５の偏光に対する光学要素１９０の複屈折の効果に着目する。

【０１５０】

図２は、マスク１１０又はレチクル１１０の平面内での投影露光系１００の照明系１６０の光学要素１９０の固有複屈折又は材料複屈折の効果を略示している。図１の解説において上述したように、レーザ光源１４０の出力ビーム１４５は実質的に直線偏光される。

図２に示す例では、ビーム１４５は、水平方向に偏光されている。図２は、ｘ軸を基準として角度を測定した場合の４５°軸上へのベクトルリターデーションの投影を示すスカラー複屈折成分Ｒｅｔ４５の図を示している。図２ａ～図２ｃはまた、リターデーションが照明系１６０のレンズ縁部に向けて有意に増大することを示している。更に、図２ａ～図２ｃは、リターデーションが瞳縁部に向けても有意に増大することも示している。これは、照明系１６０の光学要素１７０、１９０の材料複屈折が、強い視野依存性と瞳依存性の両方を有することを意味する。

【０１５１】

材料複屈折を有する光学要素１７０、１９０のリターデーションΔは、光学要素１７０、１９０の厚みｄとその速軸の屈折率n_F及び遅軸の屈折率n_Sとにより次式に従って決定される。

$$\Delta = d \cdot (n_S - n_F) = d \cdot \Delta n = d \cdot \delta \qquad (2)$$

この場合に、δを複屈折と呼ぶ。

【０１５２】

光学要素１７０、１９０の材料複屈折によって引き起こされるリターデーションΔは、マスク１１０の照明視野にわたるレーザビーム１４５の偏光の変化をもたらす。その結果、例示的に図２で光学構成要素１７０、１９０の材料複屈折によって配分されている偏光は、支配的な状態における強度（ＩＰＳ）の低下を招く。ＩＰＳ規格は、投影露光系１００の利用者に対して重要な特徴であるので、投影露光系１００が、定められたＩＰＳ閾値を満たすようにＩＰＳ損失を補償しなければならない。現在、一般的なＩＰＳ規格は、照明設定に依存して９６％と９８．５％の間で変化する。

【０１５３】

この高いＩＰＳ規格閾値は、全ての外部寄与も含む投影露光系１００全体の約１０ｎｍの範囲のリターデーション収支をもたらす。従って、ＩＰＳ規格は、投影露光系１００の照明系１６０及び投影系１８０の全ての光学要素１７０、１９０に対して新しい複屈折要件を設定する。更に、ＩＰＳ規格は、マスク１１０、フォトレジスト１３０、及びマスク１１０のペリクル（図１には示していない）によって誘起される偏光変化に対しても高い要求を課する。投影露光系１００の一部ではない最後の構成要素の影響に対しては本発明では対処しない。

【０１５４】

図３は、光学要素１７０、１９０内に局所持続性修正の配置を導入して投影露光系１００の光学要素１７０、１９０の材料複屈折の効果を補償するために使用することができる装置４００の略ブロック図を示している。装置３００は、３次元で移動可能にすることができるチャック３２０を含む。チャック３２０には、例えば、挟着のような様々な技術を使用することによって光学要素３１０を固定することができる。光学要素３１０は、図１の光学要素１７０、１９０のうちの１つとすることができる。

【０１５５】

装置３００は、パルス又はレーザパルスのビーム又は光ビーム３３５を生成するパルスレーザ光源３３０を含む。レーザ光源３３０は、可変持続時間を有する光パルス又はレーザパルスを発生させる。パルス持続時間は、１０ｆｓ程度の短さのものとすることができ、１００ｐｓまで連続的に増加させることができる。パルスレーザ光源３３０によって生成される光パルスのパルスエネルギは、０．０１μＪ毎パルスから１０ｍＪ毎パルスに達する広大な範囲にわたって調節することができる。更に、レーザパルスの繰り返し数は、１Ｈｚから１００ＭＨｚまでの範囲を含む。好ましい実施形態において、光パルスは、８００ｎｍの波長で作動するＴｉ：サファイアレイザによって生成することができる。しかし、以下に説明する方法は、このレーザ方式に限定されず、原理的に、光学要素３１０の材料に対する禁制帯幅よりも小さい光子エネルギを有し、フェムト秒範囲に持続時間を有するパルスを発生させることができる全てのレーザ方式を使用することができる。従って、例えば、Ｎｄ－ＹＡＧレーザ系又は色素レーザ系を適用することができる。

【０１５６】
装置３００は、１つよりも多いパルスレーザ光源３３０を含むことができる（図３には示していない）。
【０１５７】
表２及び表３（「発明の概要」節）は、一態様において光学要素３１０内に局所持続性修正配置を導入するのに使用される周波数２倍Ｎｄ－ＹＡＧレーザ系のレーザビームパラメータの概要を表している。単一の局所持続性修正は、光学要素３１０の密度を局所的に修正する。局所修正される光学要素３１０の密度は、この光学要素３１０の少なくとも１つの小さい空間領域の範囲で非連続的に修正され、この少なくとも１つの小さい空間領域をピクセルと呼ぶ。更に、単一の局所持続性修正の局所修正密度は、誘起ピクセルである局所持続性修正の周囲に歪み分布を誘起する。光学要素３１０の材料内に特定目的の配置で多くのピクセルを導入するか又は書き込むことにより、望ましい歪み分布を生成することができる。
【０１５８】
不透過性において誘起される変化$\Delta\beta_{ij}$は、材料内に誘起される歪みに線形に依存し、不透過性βと誘電率εとが次式によって関連付けられることは公知である。

$$\varepsilon = \frac{1}{\beta} \qquad (3)$$

【０１５９】
この依存性は、応力光学行列の成分を用いて次式のように表すことができる。

$$\Delta\beta_{ij} = \sum_{k=1,l=1}^{3,3} q_{ijkl}\sigma_{kl} \qquad (4)$$

【０１６０】
従って、光学要素１７０、１９０内にピクセルを導入するか又は書き込むことによって光学要素１７０、１９０の材料内に誘起される歪みは、材料内での光学ビームのリターデーションΔに直接関連付けられ、次式によって与えられる。

$$\Delta = d \cdot n_0^3 \cdot \sqrt{\left(\frac{\beta_{11}-\beta_{22}}{2}\right)^2 + \beta_{12}^2} \qquad (5)$$

ここで、ｄは、ここでもまた、光学要素１７０、１９０の厚みであり、n_0は、光学要素１７０、１９０の等方性材料の屈折率であり、β_{ij}は、光学要素１７０、１９０の材料の不透過性行列の成分である。式５は、リターデーションを光学要素の厚みに対して垂直な２次元変形モデルで表している。
【０１６１】
レーザビームは、光学要素１７０、１９０内にフォーカスされ、レーザパルスが光学要素３１０の材料内に「書き込まれる」ので、以下では、特定のレーザパルスを特徴付ける１つのレーザビームパラメータセットを書込モードとも呼ぶ。レーザビーム又はレーザパルスの各パラメータセット又は各書込モードは、光学要素１７０、１９０内に当該パラメータセットに特徴的な又は独特の局所変形を誘起する。言い換えれば、レーザパルスに関する各パラメータセット又は各書込モードは、光学要素３１０の材料内にその独特の変形を生成する。
【０１６２】
以下では、光学要素１７０、１９０に対するレーザパルスの効果をモード署名（ＭＳ）と呼ぶパラメータの形式で説明する。この思想では、光学要素１７０、１９０の区域は、小さい基本区域、好ましくは、小さい矩形又は正方形に分割される。モード署名は、レーザパルスの作用又はレーザパルスの和の作用に起因する基本区域の歪曲又は変形を表している。
【０１６３】

「発明の概要」節の表１から表４は、誘導歪み分布及び／又は誘導光散乱減衰のような光学要素１７０、１９０、３１０の材料の特性に異なって影響を及ぼす局所持続性修正配置に対する異なるレーザビームパラメータセットを要約している。

【０１６４】

上記に表１で紹介したレーザビームパラメータセットに関して、レーザビームパラメータの全ての特定の範囲は、特定的に誘起される持続性修正に起因する特定のモード署名（ＭＳ）に対応することに注意しなければならない。

【０１６５】

上記で表２に示すレーザビームパラメータセットの範囲は、誘導光減衰／誘導光散乱と比較して大きい膨張をもたらし、歪み制御に有利である。

【０１６６】

更に、表３に示すレーザビームパラメータセットの範囲は、誘導光減衰／誘導光散乱と比較して小さい膨張を発生させる。この小さい大きさのＭＳを有する処理ウィンドウ（ＰＷ）は、光学要素１７０、１９０の材料の目立った変形なしに光の減衰／散乱を制御するのに有利である。

【０１６７】

更に、上記で表４に示すピクセルなし書込に対応するレーザビームパラメータの範囲は、光学要素１７０、１９０の材料の収縮を誘起し、従って、負の大きさのＭＳを有することに注意しなければならない。ピクセルなし書込は、光学要素の特性が、光学要素上に入射する光の軽微な散乱でさえも許容しない場合の材料変形に有利である。

【０１６８】

標準書込（表２）とＬｏｗ　Ｒｅｇ（表３）とピクセルなし書込（表４）との組合せは、誘導変形及び／又は誘導変形によって引き起こされる光減衰を制御するための完全セットを与える。

【０１６９】

ステアリングミラー又はステアリング系３９０は、パルスレーザビーム３３５をフォーカス対物系３４０内に誘導する。対物系３４０は、パルスレーザビーム３３５を光学要素３１０内にフォーカスさせる。適用される対物系３４０のＮＡ（開口数）は、光学要素３１０の材料内での定められたフォーカススポットサイズ及びフォーカス位置に依存する。表１に示すように、対物系３４０のＮＡは、０．９までとすることができ、この値は、実質的に１μｍのフォーカススポット直径、及び実質的に10^{20}Ｗ／ｃｍ^{2}の最大強度をもたらす。

【０１７０】

装置３００は、試料ホルダ３２０の２軸位置決め台のｘ方向とｙ方向の平面内での平行移動を管理するコントローラ３８０及び演算ユニット３６０を更に含む。コントローラ３８０及び演算ユニット３６０は、対物系３４０が固定された１軸位置決め台３５０を通してのチャック３２０の平面に対して垂直な（ｚ方向の）対物系３４０の平行移動を更に制御する。装置３００の他の実施形態において、光学要素３１０を目標の場所まで移動するために、チャック３２０に３軸位置決め系を装備することができ、対物系３４０を固定されたものとすることができ、又はチャック３２０を固定されたものとすることができ、対物系３４０を３次元で移動可能にすることができることに注意しなければならない。パルスレーザビーム３３５の目標の場所への光学要素３１０のｘ方向、ｙ方向、及びｚ方向の移動のための手動位置決め台を使用することができ、及び／又は対物系３４０は、３次元移動のための手動位置決め台を有することができることに更に注意しなければならない。

【０１７１】

演算ユニット３６０は、マイクロプロセッサ、汎用プロセッサ、専用プロセッサ、ＣＰＵ（中央演算処理装置）、ＧＰＵ（グラフィック処理ユニット）などとすることができる。演算ユニット３６０は、コントローラ３８０に配置することができ、又は例えばＰＣ（パーソナルコンピュータ）、ワークステーション、メインフレームのような個別のユニットとすることができる。演算ユニット３６０は、キーボード、タッチパッド、マウス、ビ

デオ／グラフィックディスプレイ、プリンタのようなＩ／Ｏ（入力／出力）ユニットを更に含むことができる。更に、演算ユニット３６０は、揮発性メモリ及び／又は不揮発性メモリを含むことができる。演算ユニット３６０は、ハードウエア、ソフトウエア、ファームウエア、又はこれらのいずれかの組合せでもたらすことができる。更に、演算ユニット３６０は、レーザ光源３３０（図３には示していない）を制御することができる。

【０１７２】

更に、装置３００は、チャック３２０に配置された光源からダイクロイックミラー３４５を通して光を受光するＣＣＤ（電荷結合デバイス）カメラ３６５を含む閲覧系を設けることができる。この閲覧系は、目標位置に対する光学要素３１０のナビゲーションを容易にする。更に、閲覧系は、光源３３０のパルスレーザビーム３３５による光学要素３１０内でのピクセル配置の形成を観察するために使用することができる。

【０１７３】

図４は、光学要素１７０、１９０のうちの１つの材料複屈折の計測結果を示している。以下ではこの例を用いて、光学要素１７０、１９０の材料複屈折に対する局所持続性修正又はピクセルの配置の効果を論証する。光学要素１７０、１９０の材料複屈折を解析するのに、２つの交差偏光フィルタが使用される。図４ａの線は、光学要素１７０、１９０の光学的有効区域の直径にわたる速軸の向きを示しており、これらの線の長さは、材料複屈折の局所強度を示している。図４ｂは、材料複屈折によって誘起される局所リターデーションΔの大きさ又は量を示している。この大きさは、１０ｎｍという最大のリターデーションの大きさにスケーリングされている。リターデーション量の二乗平均量は２．６ｎｍに達する。

【０１７４】

図５は、図４の光学要素１７０、１９０に対して、局所持続性修正の配置を導入するか又はピクセルを書き込む区域を示している。内側の黒色区域は、光ビーム１４５の光子が光学要素１７０、１９０を通過する光学的有効区域５１０である。図５は、光学的有効区域５１０の周囲に光学要素１７０、１９０の機能を実行するのに有効ではない区域５２０を灰色に示している。図５の例では、ピクセル配置の書込に使用される区域５２０は１５ｍｍの直径を有する。

【０１７５】

既に上述したように、レーザ系３３０のレーザビーム３３５は、光学的有効区域５１０の外側５２０で光学要素１７０、１９０を局所的に変形するのに使用される。局所持続性修正は、光学要素１７０、１９０の材料の密度を局所的に修正する。光学要素１７０、１９０の区域５２０内にピクセル配置を書き込むことによる小さい局所変形の導入は、光学要素１７０、１９０の材料の材料複屈折を補償するのに使用される。従って、どの書込モード又はどのレーザビームパラメータセットがどのタイプのピクセルを生成するかを把握することは極めて重要である。

【０１７６】

上述したように、レーザパルスは、以下では区域５２０内にのみ書き込まれ、レーザパルスの作用は、主に区域５１０内で解析される。

【０１７７】

区域５２０内のピクセル配置の書込による光学要素１７０、１９０の光学的有効区域５１０内の材料複屈折の補償を解析するために、図４の光学要素１７０、１９０の材料複屈折の補償効果をシミュレートする。

【０１７８】

図４の光学要素１７０、１９０の材料複屈折の補償に向けて、シミュレーション処理において、２つの異なる書込モードのピクセルを光学要素１７０、１９０の区域５２０内に導入する。図６及び図７は、それぞれの書込モードのピクセル配置の効果を示している。図６ａは、第１のモードのモード署名を示しており、図７ａは、第２の書込モードの書込署名を示している。黒色の正方形は、レーザパルスの印加の前の部分区域５２０内の基本区域を表している。灰色の矩形は、レーザパルスの作用下での基本区域の変形を表してい

る。図６ａは、実質的に水平方向の又はｘ方向に沿った基本区域の変形を示しており、それに対して図７ａは、実質的に垂直方向の又はｙ方向に沿った基本区域の変形を示している。すなわち、モード署名は、区域５２０の膨張のタイプを決定し、従って、補償処理の効率も決定する。

【０１７９】

図６ｂ及び図７ｂは、区域５２０内で必要とされる局所持続性修正を誘起するために光学要素１７０、１９０の区域５２０内に書き込まなければならないピクセルの計算上の密度を示している。この光学ピクセル密度は、局所ピクセル密度に比例し、書込処理をモニタするのに使用される。印加レーザパルスは、標準処理ウィンドウ（表２を参照されたい）に従うパラメータセットを有する。材料複屈折を補償するのに必要とされるピクセル分布又は局所持続性修正配置は、図４の計測複屈折分布から決定される。必要とされるモード署名特性を得るために、印加レーザビームは、表２に記載のパラメータ値（ｓｔｄ　ＰＷ）を有していた。更に、この事例では、レーザビームを追加成形し、すなわち、この特定の事例では非点収差を導入した。

【０１８０】

図６ｃ及び図７ｃは、図６ｂ及び図７ｂの区域５２０内のピクセル配置によって引き起こされる遠くまで届く歪みから発生する複屈折速軸の分布のシミュレーションを示している。図６ｄ及び図７ｄは、区域５２０内のピクセル配置によって引き起こされる歪みによって誘起される活性区域５１０内でのリターデーションの大きさΔの局所分布を示している。

【０１８１】

図８ａは、シミュレーションにおいて、第１の書込モード（図６ａ）及び第２の書込モード（図７ａ）の図６ｂ及び図７ｂのピクセル配置が光学要素１７０、１９０の材料複屈折に適用された後の図４の光学要素１７０、１９０の光学的有効区域５１０にわたる速軸の分布を示している。同じく図８ｂは、リターデーション量の残留分布を示している。図８ｂの二乗平均の大きさは０．５６ｎｍになる。

【０１８２】

上述の値は、２．６ｎｍである図４ｂの計測リターデーションに対して７８％のリターデーションの改善をもたらす。この提示例は、図４の材料複屈折の有意な改善を示している。この結果は、部分的には、光学要素１７０、１９０の縁部分において大きい複屈折を有し、それに対して中心部分で複屈折が低いという考察中の問題の結果である。しかし、考察中の問題は、図２に示すもののような光学要素１７０、１９０では非常に一般的である。従って、説明する方法は、特に光学的有効区域５１０にわたる偏光変化が光学要素１７０、１９０の材料複屈折によって引き起こされる場合に、これらの偏光変化を補償するのに非常に適切である、

【０１８３】

以下では、石英板の中心部分の僅かな固有複屈折を補償することによって本方法を検証する。この目的のために、図９は、石英板の計測複屈折分布を示している。より詳細には、図９ａは、石英板にわたる固有複屈折又は材料複屈折の速軸の分布を示しており、図９ｂは、この板の中心領域の抜粋図を示している。図９ｃは、リターデーション量を示している。図２及び図４と同様に、図９においても固有複屈折は中心領域内で比較的弱く、この領域は、僅か０．１８ｎｍの二乗平均量のみを有する。

【０１８４】

それにも関わらず、板の中心における複屈折問題を補償することが目的である。光学的有効区域又は光学的活性区域は、３５ｍｍの辺長を有する正方形区画である。ピクセル配置は、光学的有効正方形区画の周囲の１０ｍｍの幅広い区域内に書き込まれる。

【０１８５】

図１０ａは、第１のモードのモード署名を示しており、図１１ａは、第２の書込モードのモード署名を示している。上述の場合のように、黒色の正方形は、レーザパルスの印加の前の中心正方形区画の周囲の区域内の基本区域を示している。灰色の矩形は、レーザパ

ルスの作用下での基本区域の変形を示している。図１０ａは、大きい方の変形がｘ方向に対して－４５°の角度を有する軸と平行である基本区域の非対称な変形を示している。図１１ａは、第２の書込モードの変形又はモード署名が、実質的に図１０ａのモード署名に対して約９０°だけ回転されることを示している。第１の例と同様に、これらの書込モードは、標準処理ウィンドウのレーザビームパラメータセットを含む。

【０１８６】

図１０ｂ及び図１１ｂは、中心正方形区画の周囲の区域内で必要とされる局所変形を誘起するためにこの区域内に書き込まなければならない光学ピクセルの計算上の密度を示している。光学透過率の変化は５％までであり、それに対して図６ｂ及び図７ｂでは、この変化は１０％までである。上記に解説した例と同様に、材料複屈折の補償に必要とされるピクセル分布は、図９に示す計測複屈折分布から決定される。

【０１８７】

図１０ｃ及び図１１ｃは、図１０ｂ及び図１１ｂの中心正方形区画の周囲の区域内のピクセル配置によって引き起こされる遠くまで届く歪みから発生する複屈折の速軸の分布のシミュレーションを示している。図１０ｄ及び図１１ｄは、中心正方形区画の周囲の１０ｍｍの幅広帯状域内のピクセル配置によって引き起こされる歪みによって誘起される、活性区域（中心正方形区画）内でのリターデーション量Δの局所分布を示している。

【０１８８】

これらのシミュレーション結果から、図９のリターデーションに対して８８％の改善が予想される。図１２ａは、第１の書込モード（図１０ａ）及び第２の書込モード（図１１ａ）の図１０ｂ及び図１１ｂのピクセル配置が、図９の石英板の中心領域の周囲の１０ｍｍの幅広帯状域内に書き込まれた後のこの石英板の光学的有効中心正方形区域にわたる速軸の計測分布を示している。図１２ｂは、リターデーションの計測残留分布を示している。図１２ｂのリターデーションのモード署名大きさは０．０６ｎｍである。

【０１８９】

この値は、図９ｂの０．１８ｎｍの計測リターデーションに対して７５％のリターデーションの改善をもたらす。この提示例は、図９の石英板の中心部分の材料複屈折の有意な改善を論証している。しかし、リターデーションの計測改善値は、シミュレーションデータから予想したもの（８８％）よりも低い。図１２からは、残差複屈折の主要部分が光学的有効区域のコーナに位置することを見ることができる。シミュレーション予想と計測データの間の差の主要部分は、当て嵌めた変形モデルの２次元近似から引き起こされる。３次元変形モデルの使用は、シミュレーションデータと計測データとをより良い適合に誘導することができる。その一方、この変形モデル予想と計測データの間の不適合は、光学的有効区域とこの区域の周囲のピクセルが書き込まれる帯状域との間に小さい間隙を導入することによって大きく改善することができる。

【０１９０】

ここで、全体の系を形成する光学要素１７０、１９０の偏光変化を補償するために、解説している方法を投影露光系１００の特定の光学要素に適用する。以下に説明する例示的実施形態において、この特定の光学要素は、投影露光系１００の減光フィルタ１７０である。しかし、減光フィルタ１７０は単なる例に過ぎず、この補償方法は、投影露光系１００の光学要素１９０のうちのいかなるものにも適用することができることを理解しなければならない。

【０１９１】

図１から分るように、減光フィルタ１７０又は灰色フィルタ１７０は、照明系１６０の結像平面の近くに配置される。既に上述したように、例示的な灰色フィルタ１７０は、光ビーム１４５にわたる照明不均一性を補償するのに使用される。図１３は、灰色フィルタ１７０の上面図を示している。その全域は、約１５０ｍｍ×７５ｍｍに達し、光学的有効区域１３１０は、約１２０ｍｍ×２８ｍｍである。灰色フィルタ１７０の厚みは３ｍｍである。

【０１９２】

活性フィルタ区域１３１０の周囲の区域１３２０は、ＤＵＶ光子に対して透過性を持たず、従って、局所持続性修正配置を導入するために使用することができる。投影露光系１００の光学要素１７０、１９０の材料複屈折の補償に必要とされる灰色フィルタ１７０の瞳の活性区域１３１０にわたるリターデーション分布が、照明瞳の活性区域１３１０にわたる平均として計算される。この手法は、各個々の投影露光系１００の光学要素１７０、１９０の材料複屈折の解析を回避する。

【０１９３】

区域１３１０は、灰色フィルタ１７０の長軸上で線形に変化する計算上のリターデーションを示している。図１３に示すように、速軸は、灰色フィルタ１７０の右部分にｘ軸に対して４５°の向きを有する。左部分では、速軸の向きはまた、ｘ軸に対して－４５°である。図１３の右側のスケールは、リターデーションが灰色フィルタ１７０の中心で実質的にゼロであることを示している。縁部では、誘導リターデーションは約１０ｎｍ／ｃｍであり、それによって灰色フィルタ１７０の縁部において光学ビームの約３ｎｍのリターデーションが引き起こされる（光が水平偏光又は垂直偏光を有する場合に）。

【０１９４】

図１３に示す計算上のリターデーション分布の構成に向けて、ここでもまた、２つの書込モードを適用する。図１４ａ及び図１４ｂは、減光フィルタ１７０の望ましいリターデーション分布又はリターデーション分布の生成に使用される２つの書込モードのモード署名を示している。図１４ａの書込モードは、実質的に水平方向の灰色フィルタ１７０の基本区域の変形を誘起し、それに対して図１４ｂの書込モードは、実質的に垂直方向の基本区域の変形を誘起する。両方の書込モードは、標準処理ウィンドウからのレーザビームパラメータセットを含む。既に上述したように、光は円柱レンズを用いて追加成形される。

【０１９５】

歪み発生源（ピクセルが書き込まれる区域）と誘導歪みが複屈折を補償する区域との間の距離が大きい可能性があるので、必要とされるリターデーションの量が比較的多いということが、図１３の計算上のリターデーション分布の独特の特徴である。従って、光学的無効区域１３２０内で１つの局所持続性修正配置を用いて、又はこの区域内に各書込モードの単層のピクセルを書き込むことによってこのリターデーション分布を得ることは可能ではない。従って、全処理は、５つの連続段階に分割される。図１５ａは、図１４ａの第１の書込モードの計算上の５つのピクセル配置を示しており、図１５ｂは、図１４ｂの第２の書込モードの計算上の５つのピクセル配置を示しており、２つの書込モードのピクセル配置が、単層の灰色フィルタ１７０内に書き込まれる。５つの段階のピクセル配置が、灰色フィルタ１７０内で異なる深さに配置された５つの異なる層内に導入される。

【０１９６】

各書込段階の後に、全体の目標に鑑みて次の書込段階を微調整するために、特定の層内のそれぞれの局所持続性修正配置によって得られるリターデーションの量が解析される。図１６は、灰色フィルタ１７０の活性区域１３１０内での誘起複屈折の発達を示している。図１６ａは、灰色フィルタ１７０の区域１３２０内にピクセルが書き込まれていない図１６ａ０の初期状態から始まる速軸の設定を示している。図１６ｂは、この場合にも灰色フィルタ１７０の区域１３２０内に局所持続性修正配置が導入されていない灰色フィルタ１７０の初期状態から始まるリターデーション量の発達を表している。

【０１９７】

図１６は、５つの書込モードのピクセル配置によって導入される歪みが加算的であることを示している。それによって投影露光系１００の光学構成要素１７０、１９０の材料複屈折を補償するための灰色フィルタ１７０の区域１３２０内での制御された誘導歪みの生成において大きいダイナミックレンジがもたらされる。

【０１９８】

図３のレーザ系３３０である書込ツールは、全体処理中に、図１４に示すような計算上のモード署名の生成においてある程度の不安定性を示している。図１６では、例えば、段階２及び段階３においてそうであるように、一部の中間段階で得られる結果には目立った

ずれが存在する。しかし、次の書込段階の前に実施される補正アクションに起因して、最終結果は、図１３に示す計算上の目標との良好な適合を示している。

【０１９９】

灰色フィルタ１７０の区域１３２０の様々な層内に位置する局所持続性修正配置の導入によって誘起される複屈折分布の効果を検証するために、処理された灰色フィルタ１７０を投影露光系１００の照明系１６０９内に設置する。偏光された瞳の得られるＩＰＳを図１７に示している。

【０２００】

処理された灰色フィルタ１７０の向きを調べるために、この灰色フィルタ１７０をビーム経路１７０内に図１３の灰色フィルタ１４５の水平軸であるｘ軸の回りに反転した２つの異なる向きに導入する。図１７ｂは、処理された灰色フィルタ１７０が照明系１６０内に挿入されていない場合の投影露光系１００の照明系１６０の結像平面内の光学ビームのリターデーション量の分布を示している。ＩＰＳ損失は、２．７％に達する。図１７ａは、処理された灰色フィルタ１７０がレーザビーム１４５に配置されるが、間違った向きを有する状況を示している。従って、ＩＰＳ損失は、２．７％から４．１％に劣化する。処理された灰色フィルタ１７０を正しい向きに使用すると、ＩＰＳ損失は、２．７％から１．６％に減少する。この値は、ＩＰＳ損失の４１％の相対的減少である。

【０２０１】

この改善は、投影露光系１００の照明系１６０の光学要素１９０の一般的な補償に基づくものである。ＩＰＳ損失の減少は、個々の照明系１６０のリターデーション分布を解析し、次に、特定の照明系１６０の特定の複屈折問題に特化して設計されたピクセル配置を灰色フィルタ１７０の区域１３２０内に書き込む場合に改善することができる。

【０２０２】

投影露光系１００のための光学要素１７０、１９０の複屈折の一般的な補償においてより良好な補償を得る別の可能性は、例えば、瞳平面に近い平面のような投影露光系１００の別の平面に配置された専用補償要素を使用することである。そのような手法は、補正自由度を大きく高め、補償をより柔軟なものにする。理想的な手法では、得られる誘起複屈折を一般的に最も高い許容量のＩＰＳ損失とすることができる仕様目標に従って最適化するために、誘起複屈折の生成において処理の全体の変化空間を使用する問題が策定される。

【０２０３】

解説する例は、光学要素の光学的有効区域の外側に位置する局所持続性修正配置が、光学系の光学要素内の偏光変化を補償するのに十分に適することを明確に示している。

【０２０４】

以下の例では、光学系の光学要素１７０、１９０の欠陥をこれらの光学要素１７０、１９０の光学的有効区域５１０内に持続性変化配置を導入することによって補償することができることを論証する。第１のモードでは、表４に示すパラメータセットを有するレーザビーム３３５を光学要素１７０、１９０の複屈折分布の補償に対して使用する。表４に記載のレーザビームパラメータセットを用いて持続性変化を書き込んでも、光学要素１７０、１９０の材料内には軽微な歪みしか導入されない。以下に説明する特定例では、この軽微な歪みを無視する。ピクセルなし書込によって引き起こされる光学要素１７０、１９０の材料の形態的変化は、偏光依存のリターデーションをもたらす。導入される持続性変化配置の効果は、それぞれの持続性変化配置内に書き込まれた持続性変化の密度とｘ軸に対するレーザビーム偏光の角度とによって制御することができる。この場合に、単一のパルスは、目立った修正をほとんど導かないので、ピクセルという表現は用いない。望ましい効果には、フォーカスレーザビームの直径よりも小さい空間ピッチを有する複数のパルスによって到達される。レーザビーム書込のこの態様を強調するために、ここではピクセル密度の代わりにパルス密度を決定する。

【０２０５】

図１８に示すように、以下の例では、０°の偏光角のレーザビーム３３５と、持続性変

化配置の内部における１０５ピクセル／ｍｍ２のパルス密度とが、６０°の角度を有する速軸を有する１ｎｍのリターデーションをもたらすと仮定する。この例では、速軸とレーザビーム偏光の間の角度差が、他の系パラメータに依存する可能性があることを示すために、６０°の角度差を使用する。光学系の光学要素１７０、１９０内には、必要とされるあらゆるリターデーション分布を誘起するか又は書き込むことができることに注意しなければならない。しかし、この例の目的は、例えば、光学要素１７０、１９０の光学的有効区域にわたる光学ビームの強度変化を同時に補償することのような他の目的を実現する上で、既存の自由度を使用することができることを論証することである。

【０２０６】

図１９は、図１に示すフォトリソグラフィ投影露光系１００の結像平面に配置された光学要素１７０、１９０の計測複屈折分布の例を示している。図１９ａは、計測された複屈折問題の速軸の向きの分布を表しており、図１９ｂは、そのリターデーションの絶対値の分布又は大きさの分布を示している。図１９ｂの二乗平均の大きさは２．６ｎｍである。

【０２０７】

図２０ａは、図２０の複屈折問題をかなりの程度まで補償することになる偏光角の分布を表しており、図２０ｂは、そうすることになる書込密度を示している。しかし、表３のレーザビームパラメータを有するレーザビーム３３５は、図２０の持続性変化配置を有する光学要素１７０、１９０を通過する光学ビームの同位相波面を破壊することになる。表３のパラメータを有するレーザビーム３３５は、光学要素１７０、１９０の材料の屈折率を変化させることになる。

【０２０８】

従って、図１９の複屈折分布問題の補償では、以下に示す手法を使用する。図２０の持続性変化配置を光学要素１７０、１９０の２つの異なる層内に導入される２つの持続性変化配置に分離する。これらの２つの層は、光学要素１７０、１９０の光学面までの異なる距離を有する。

【０２０９】

図２１ａ及び図２１ｃは、２つの層内に使用されるレーザビーム３３５の偏光分布を表しており、図２１ｂ及び図２１ｄは、第１及び第２の層における持続性変化配置の書込密度の分布を示している。光学要素１７０、１９０の光学的有効区域５１０の全ての点において合計書込密度は一定に保たれる。従って、必要とされるリターデーション差の生成において位相変化も一定に保たれる。

【０２１０】

累積書込密度が一定であり、得られる２つの層の誘導リターデーション分布の和が図１９の複屈折分布の補償に必要とされる速軸の向きの分布及び大きさの分布をもたらすという制約条件の下に、レーザビーム３３５において固定の偏光角セットを用いて類似の手法を得ることができる。

【０２１１】

光学要素１７０、１９０の光学的有効区域内に２つ又はそれよりも多くの持続性変化配置を導入することにより、必要とされるあらゆる複屈折分布又は複屈折分布を生成することができる。光学要素１７０、１９０のいくつかの層内へのいくつかの持続性変化配置の適用の利点は、適度な量のパルス書込密度しか必要ではないという点である。更に、複屈折補償を位相欠陥の補償と組み合わせることができる。光学要素１７０、１９０の光学的有効区域５１０内への１つ又はいくつかの局所持続性修正配置の導入は、ＵＶ帯域内である程度の関連的な吸光を誘起する可能性がある。

【０２１２】

上述の例では、ピクセル配置を光学要素１７０、１９０の光学的有効区域５１０内にのみ書き込んだ。以下の例では、ピクセル配置を光学要素１７０、１９０の光学的有効区域５１０内に加えて、その外側の区域５２０内にも導入する。以下の例では、光学要素１７０、１９０の材料内に変形を誘起するタイプのピクセル書込を実施するので、ピクセルという表現を再度使用する。モード署名（ＭＳ）は、レーザビーム書込の単位当たりに誘起

される変形の量を指定する。この例の目的のために、ある程度の人工的白色ノイズを追加した石英板の固有複屈折分布を示す合成問題につて考察する。

【０２１３】

図２２は、代表的な合成問題を示しており、図２２ａは、速軸の向きの分布を示し、図２２ｂは、リターデーションの大きさのそれぞれの分布を示している。二乗平均の大きさは０．５ｎｍになる。一般的に光学要素１７０、１９０では、複屈折欠陥は、光学要素１７０、１９０の中心から縁部に増大することが認識される。図２２に定める問題は、この実験的挙動を考慮している。

【０２１４】

図２３は、図２２の問題の補償に使用されるピクセル書込だけのモードに使用されるモード署名を示している。図２３から分るように、誘起ピクセルは、光学要素１７０、１９０の光学的有効区域５１０の内部５１０及び外側５２０において、光学要素１７０、１９０の材料の基本区域を膨張させる。

【０２１５】

図２４は、図２２に示す複屈折問題の補償に向けて計算された書込マップを示している。図２４は、最も高い書込密度が、図２４の内側の正方形によって示す光学的有効区域５２０の外側５１０であることを示している。これは、図２２に定めた複屈折問題の対称性の結果である。

【０２１６】

図２５ａは、図２３に示すモード署名を有するピクセル配置によって光学要素１７０、１９０の区域５１０、５２０内に誘起された複屈折の速軸の向きの分布のシミュレーションを示し、図２５ｂは、その大きさの分布のシミュレーションを示している。

【０２１７】

図２６は、計算上のピクセル書込マップが図２２の複屈折問題に適用された後の図２２の残っている複屈折問題を示している。図２６ｂの二乗平均の大きさは、図２２ｂの０．５０ｎｍと比較して０．３８ｎｍになる。それによってリターデーション量又はリターデーションの大きさの２３％の低下がもたらされる。

【０２１８】

図２６の限られた複屈折補償は、主に１つのモード署名へのピクセル書込処理の制限に起因する。光学要素１７０、１９０の区域５１０、５２０内に書き込まれるか又は導入されるピクセル配置が２つのモード署名又は２つの書込モードを含む場合に、図２２の複屈折補償を８７％まで改善することができる。

【０２１９】

以下では、３つの異なるモード署名又は書込モードの適用が、図２２に示す複屈折問題の完全な手法を与えることを論証する。

【０２２０】

図２７は、互いに対して１２０°だけ回転された３つの書込モードのモード署名を部分図ａ、ｃ、及びｅに示している。図２７ｂ、図２７ｄ、及び図２７ｆは、それぞれのモード署名の書込マップを示している。図２７の書込マップの書込密度は、光学要素１７０、１９０の区域にわたってより均一に配分されている。更に、レーザビーム３３５のいくつかのモード署名の適用は、図２４に示す１つのモード署名だけを使用する補償と比較して、光学要素１７０、１９０の光学的有効区域５１０内に書込密度の多くの部分を集中させる。

【０２２１】

図２８は、図２７ｂ、図２７ｄ、及び図２７ｆの書込マップによって誘起される速軸の向きの分布のシミュレーションを示している。最後に、図２９は、図２７の３つの書込マップの適用後の図２２の残留複屈折分布を示している。図２７から分るように、図２７ａ、図２７ｃ、及び図２７ｅに示す３つのモード署名は、図２２の複屈折問題をほぼ完全に補償する。

【０２２２】

解説中の例では、光学要素１７０、１９０の光学的有効区域５１０内へのピクセル配置の導入が、光学要素１７０、１９０を通過する光学ビームの位相変化を導かないと仮定している。光強度の節約が重要な場合に、前の例で解説した手法をピクセル配置の導入における４つ又はそれよりも多くのモード署名の適用に拡張することができる。

【０２２３】

この提示例は、光学要素１７０、１９０の他の光学特性を劣化させることなく、欠陥補償に向けて光学要素１７０、１９０の光学的有効区域内にピクセル配置を導入することができることを示している。

【０２２４】

以下では、本発明の原理の適用の更に別の例を解説する。この例では、照明系１６０の光学要素１９０の歪み誘起複屈折を補償するために、本発明の原理を使用する。以下の例では、照明系１６０は、図１のフォトリソグラフィ投影露光系１００のレチクルマスキング（ＲＥＭＡ）対物系とすることができる。光学要素１９０は、レンズ、及び／又は例えば図１のミラー１６４のようなミラーを含む。

【０２２５】

光学要素１９０内の歪み誘起複屈折の補正は、実質的又は少なくとも部分的に光学要素１９０内の歪み誘起複屈折を補償する歪みを光学要素１９０に印加することによって行われる。上記に既に示すように、この歪みは、例えば、１つ又はいくつかのアクチュエータを使用することによって光学要素１９０に印加することができる。これに代えて及び／又はこれに加えて、光学要素１９０内に１つ又はいくつかの局所持続性修正配置を導入することにより、光学要素１９０に歪み分布を適用することができる。

【０２２６】

前に解説した例と同様に、以下では、局所持続性修正配置を光学要素のうちで光学的に有効ではない区域５２０内にのみ導入するか又は書き込む。例えば、この区域は、一般的に図５の光学的有効区域５１０の周囲の約１０ｍｍの区域であるレンズマウント区域とすることができる。

【０２２７】

図３０は、レンズ３０００の２つの複屈折構成を略示している。レンズ３０００は、光学的無効区域３０２０によって囲まれた円形の光学的有効区域３０１０を含む。図３０の左の部分は、光学的有効区域３０１０内の歪み誘起複屈折のタンジェンシャル分布を示しており、黒色の短線３０３０は、レンズ３０００の材料の歪み誘起複屈折の速軸の向きを示している。

【０２２８】

レンズ３０００の光学的有効区域３０１０内の歪み誘起複屈折分布３０３０を補償するために、局所持続性修正配置３０４０をレンズ３０００の光学的無効区域３０２０内に導入するか又は書き込む。短線３０４０に示す歪み誘起複屈折の速軸は、黒色の短線３０４０と平行である。レンズ３０００の区域３０２０内への局所持続性修正配置３０４０の書込によって誘起される局所歪みは、光学的有効区域３０１０内を延び、レンズ３０００の光学的有効区域３０１０内の歪み誘起複屈折３０３０を少なくとも部分的に補償する。

【０２２９】

右のレンズ３０５０は、その光学的有効区域３０１０内にタンジェンシャル半径方向歪み誘起複屈折分布３０３０、３０６０、３０７０を概略的に示している。黒色の短線３０３０、３０６０、及び３０７０の方向は、ここでもまた、歪み誘起複屈折分布の速軸の方向を示している。黒色の短線３０４０及び３０７０は、光学的有効区域３０２０内のタンジェンシャル半径方向歪み誘起複屈折分布３０３０、３０６０、及び３０７０を補償するために、レンズ３０５０の光学的無効区域３０２０内に書き込まれる局所持続性修正配置の速軸を略示している。

【０２３０】

更に、レンズ３０００が、例えば、図１の照明系１６０のミラー１６４のようなミラーの反対の箇所に配置される場合に、図３０の右の部分のタンジェンシャル半径方向分布３

０４０及び３０７０を図３０の左の部分のレンズ３０００のタンジェンシャル歪み誘起複屈折分布３０３０の補償においても用いなければならない。ミラー１６４は、ピクセル配置３０４０及び３０７０によって書き込まれたタンジェンシャル半径方向歪み誘起複屈折分布３０３０、３０６０、３０７０をタンジェンシャル歪み誘起複屈折分布３０３０に変換する。従って、レンズ３０００と３０５０がミラーの反対側に配置される場合に、レンズ３０５０のタンジェンシャル半径方向歪み分布３０４０及び３０７０は、レンズ３０００のタンジェンシャル歪み誘起複屈折分布３０３０を補償する。

【０２３１】

図３１は、歪み誘起複屈折補償処理を略示している。レンズ３１００は、ここでもまた、光学的有効区域３１１０と光学的無効境界区域３１２０を含む。図３１のレンズ３１００は、図３１の左の部分に示すように、光学的有効区域３１１０内に半径方向歪み誘起複屈折分布３１３０を有する。中央の部分は、レンズ３１００の光学的無効区域３１２０内にそれぞれの局所持続性修正配置又はピクセル配置３１４０を導入することによる歪み誘起複屈折分布３１３０の部分補償を示している。上述したように、光学的無効区域３１２０内のピクセル配置３１４０によって誘起される歪みは、レンズ３１００の光学的有効区域３１１０に到達し、光学的有効区域３１１０内の歪み誘起複屈折分布３１３０を補償する。

【０２３２】

図３１の右の部分は、複屈折補償処理の完了後の状況を示している。レンズ３１００の境界区域３１２０は、レンズ３１００の光学的有効区域３１１０内の歪み誘起複屈折分布３１３０をかなりの程度まで補償する歪みを有するピクセル配置３１４０を含む。これは、光学的有効区域３１１０にわたる残留リターデーションが２ｎｍよりも小さく、又は更に１ｎｍよりも小さいことを意味する。

【０２３３】

上記に解説した歪み誘起複屈折補償原理は、照明系１６０の各光学要素１９０に適用することができる。これは、照明系１６０が、複屈折だけが補償された光学要素１９０を含むことを意味する。歪み誘起複屈折を含む光学要素１９０の光学特性は、一般的に、光学要素１９０が照明系１６０内に挿入される前に制御されるので、各光学要素１９０の歪み誘起複屈折をこの歪み誘起複屈折の決定中にその場で補償することを有利とすることができる。

【０２３４】

多くの場合に、歪み誘起複屈折は、偏光計又は自動化偏光計を用いて測定される。歪み誘起複屈折の決定及び補償を容易にするために、偏光計とピクセル書込処理において適用されるレーザ系とを組合せデバイスに統合することができる。それによって歪み誘起複屈折分布の事実上同時の決定と補償とが可能になる。偏光計とピクセル書込処理に使用される光源又はレーザ光源との組合せデバイスへの統合は、個々の光学要素１９０の欠陥補償処理における制御ループの容易な設定を可能にする。

【０２３５】

更に、歪み誘起複屈折分布の補償は、照明系１６０の製作現場において実施することができ、又は光学要素１９０の製作現場において事前に実施することもできる。

【０２３６】

これに代えて、照明系１６０の光学要素１７０、１９０の他の光学欠陥の補償と同様に、照明系１６０全体の複屈折分布を最小にするように光学要素１７０、１９０のうちの１つ又は単に少数のものに限って補償することにより、歪み誘起複屈折補償の労力を軽減することができる。

【０２３７】

更に別の手法では、照明系１６０の光学要素１７０、１９０は修正されない。これに代えて、照明系１６０内のビーム経路に１つ又はいくつかの光学要素を挿入することができる。この１つ又はいくつかの追加光学要素は、照明系１６０の光学要素１７０、１９０の歪み誘起複屈折に対する補償要素として機能する。これらの追加光学要素は、溶融石英板

を含むことができる。更に、追加光学要素は結像特性を持たない。

【０２３８】

追加光学要素の挿入に向けて、照明系１６０は、１つ又はいくつかの追加光学要素（図１には示していない）のための１つ又はいくつかの装着位置を含むことができる。照明系１６０のビーム経路内への１つ又はいくつかの追加光学要素の挿入は、照明系１６０内のビーム経路の定められた位置において行われるので、照明系１６０内のビーム経路をそれ程妨害しない。

【０２３９】

一般的に、照明系１６０は、ＩＰＳ数値を損なわないために補償しなければならない約±１０ｎｍから±１２ｎｍのリターデーションを有する。この関連において、支配的な状態における強度（ＩＰＳ）がリターデーションの２次関数であることが有利である。これは、リターデーションを半減することにより、ＩＰＳ損失が、その未補償数値の４分の１まで低下することを意味する。従って、多くの場合に、リターデーションの完全な補償は不要である。一般的に、照明系１６０のリターデーションを１ｎｍ又は２ｎｍの範囲に入れることで十分である。

【０２４０】

図３２は、レチクルマスキング（ＲＥＭＡ）対物系のレンズ３２００を略示している。ＲＥＭＡ対物系は、図１の投影露光系１００の照明系１６０の例示的な構造である。レンズ３２００は、フォトリソグラフィマスク１１０が位置する平面である照明系１６０の視野平面１７５の近くに配置される。黒色の円３２１０は、レンズ３２００の全体開口を示している。楕円形区域３２２０は、レンズ３２００の透明開口３２２０を示している。

【０２４１】

ＲＥＭＡ対物系の歪み誘起複屈折分布を補償するために、レンズ３２００内にピクセル配置が書き込まれる。黒色の短線３２３０は、図３２のレンズ３２００内へのピクセル書込処理によって誘起された歪み誘起複屈折分布の速軸の方向又は向きを示している。図３２では、速軸３２３０は、半径方向の向きを示している。これに代えて速軸は、タンジェンシャルな向き（図３２には示していない）を有することができると考えられる。

【０２４２】

部分開口３２４０、３２５０、及び３２６０は、レンズ３２００の透明開口３２２０にわたって局所持続性修正配置によって誘起された複屈折分布のリターデーション変化を示している。レンズ３２００の中心にある部分開口３２５０は、リターデーション変化を実質的に全く示さない。部分開口３２４０は、約－６ｎｍから約６ｎｍのリターデーション変化を示している。部分開口３２４０、３２５０、及び３２６０のうちの１つ内の赤色の区域は、約＋６ｎｍのスカラー複屈折成分Ｒｅｔ４５のリターデーションを表し、緑色の区域は、約０ｎｍのリターデーションを示し、青色の区域は、－６ｎｍ前後のリターデーションを示している。速軸３２３０の向きから予想されるように、部分開口３２６０は、部分開口３２４０のリターデーション変化であるが、透明開口の楕円３２２０の主軸において鏡像反転されたものを示している。

【０２４３】

速軸３２３０の向きで表す図３２のレンズ３２００の歪み誘起複屈折分布は、視野依存ゼルニケZ_3瞳挙動の補償を可能にする。

【０２４４】

図３３のレンズ３３００は、照明系の瞳平面１６８と視野平面１７５の間に配置される。図３２のレンズ３２００と同様に、黒色の円で囲んだ明灰色の区域３３１０は、レンズ３３００の光学的有効区域を示している。光学的有効区域３３１０の内側の白色の楕円形区域３３２０は、ＲＥＭＡ対物系のレンズ３３００の透明開口３３２０である。

【０２４５】

レンズ３３００内には、ｘ方向又は水平方向に対して±４５°の向きを有して短線３３３０及び３３４０に示す速軸を有する局所持続性修正配置が導入される。図３２と同様に、速軸３３３０及び３３４０は、半径方向の向きを示している。別の例では、速軸３３３

０及び３３４０は、タンジェンシャルな向き（図３３には示していない）を有することができる。

【０２４６】

図３２と同様に、図３３の部分開口３２４０、３２５０、３２６０、３３６０、及び３３７０は、レンズ３３００の透明開口３３２０にわたるピクセル書込処理によって誘起された歪み誘起複屈折分布のリターデーション変化を示している。上述の場合のように、レンズ３３００の中心にある部分開口３２５０は、その区域にわたってリターデーション変化を実質的に全く示さない。リターデーションは、部分開口３２４０内では約－６ｎｍから約０ｎｍまで変化する。その一方、リターデーションは、部分開口３３６０の区域にわたってほぼ＋６ｎｍから約０ｎｍまで変化する。更に、部分開口３３７０にわたるリターデーション変化は、部分開口３３４０にわたる変化と似ており、同じく部分開口３３８０のリターデーション変化と部分開口３３６０のリターデーション変化とは似ている。

【０２４７】

局所持続性修正配置によって誘起され、速軸３３３０及び３３４０の向きによって示される複屈折分布は、視野依存ゼルニケZ_3瞳挙動の補償を可能にする。レンズ３３００は、瞳平面１６８と視野平面１７５の間の照明系１６０のビーム経路に位置することを強調しておかなければならない。しかし、レンズ３３００は、瞳１６８に依存するが、視野には依存しないゼルニケZ_1寄与も生成する。ゼルニケZ_1寄与は、レンズ３３００の透明開口３３２０と全体開口又は光学的有効区域３３１０との比に依存する。

【０２４８】

ゼルニケZ_1寄与は、望ましい場合があり、又は望ましくない場合がある。この寄与が有害である場合に、それは、視野平面１７５の直近に配置された照明系１６０の減光フィルタ１７０内にそれぞれのピクセル配置を書き込むことによって補償することができる。

【０２４９】

図３４は、互いに垂直に配置された２つの欠陥補償区域３４１５及び３４２５を有するレンズ３４００を含む。図３２のレンズ３２００及び図３３の３３００と同様に、レンズ３４００は、光学的無効区域（図３４には示していない）によって囲まれた光学的有効区域３４１０を有する。レンズ３４００の光学的有効区域３４１０の内部には、図３２の透明開口３２２０と類似の形態を有する透明開口３４２０が存在する。図３２とは異なり、レンズ３４００内には、透明開口３４２０にわたって異なる強度のリターデーション分布を有する照明系１６０の２つの歪み誘起複屈折分布を補償するために、２つの異なるピクセル配置が書き込まれる。黒色の短線３４３０は、図３４のレンズ３４００内への第１のピクセル書込処理によって誘起された複屈折の速軸の方向又は向きを示している。青色の短線３４３５は、レンズ３４００内に導入された第２の局所持続性修正配置の速軸の向きを示している。第２のピクセル配置の速軸３４３５の向きは、透明開口３４２０に対して９０°だけ回転されている。

【０２５０】

部分開口３４４０、３４５０、及び３６６０は、レンズ３４００の透明開口３４２０にわたって第１の局所持続性修正配置によって誘起された複屈折のリターデーション変化を示している。レンズ３４００の中心にある部分開口３４５０は、ここでもまた、部分開口３４５０の区域にわたってリターデーション変化を実質的に全く示さない。部分開口３４４０は、右の垂直軸から見ることができるように、約－６ｎｍから約６ｎｍまでのリターデーション変化を示している。その一方、部分開口３４６０の区域にわたるリターデーションも、－６ｎｍから＋６ｎｍまで変化する。図３２と同様に、部分開口３４４０内でのリターデーション変化と３４６０内でのリターデーション変化とは異なる符号を有する。

【０２５１】

上述したように、レンズ３４００の欠陥補償区域３４２５は、欠陥補償区域３４１５と同じ速軸３４３０の向きを有する。しかし、部分開口３４６０及び３４８０の区域内のリターデーションは、水平の破線軸に示すように、－３ｎｍから＋３ｎｍまでしか変化しない。欠陥補償区域３４１５と３４２５は、照明系１６０の類似の複屈折分布を補償するが

、欠陥補償区域３４２５の欠陥補償量は、欠陥補償区域３４１５のものの半分でしかない。レンズ３４００をその光軸の回りに９０°だけ回転させることにより、補償欠陥区域３４１５又は補償欠陥区域３４２５を照明系１６０の透明開口３４２０に位置合わせすることができる。

【０２５２】

図３４の欠陥補償区域３４１５及び３４２５において、実質的に等しい歪み分布がレンズ３４００に導入され、導入歪みの強度又は量だけが異なり、異なるリターデーション分布をもたらす。しかし、レンズ３４００の第２の欠陥補償区域３４２５内には、異なる歪み分布を導入することができる。リターデーション補償の量又は強度も、第１の欠陥補償区域３４１５内と第２の欠陥補償区域３４２５内とで異なる場合がある。更に、レンズ３４００の光学的有効区域３４２０は、レンズ３４００の透明開口３４２０と光学的有効区域３４１０との面積比に依存して２つよりも多い欠陥補償区域に分離することができる。

【０２５３】

ここで、様々な欠陥補償区域３４１５及び３４２５のためのピクセルは、図３４には示していないレンズ３４００の光学的無効区域内にしか書き込まれないことを再度言及しておく。しかし、上述したように、定められた歪み誘起複屈折分布を生成し、レンズ３４００の光学的有効区域３４１０にわたって光学透過率の変化を導かないピクセル配置をレンズ３４００の光学的有効区域３４１０内に導入することができる。

【０２５４】

レンズ３４００の回転は、フォトリソグラフィ投影露光系１００の作動中に動的に行うことができる。それによって照明系１６０の１つ又はいくつかの光学要素１９０のドリフトを補償することが可能になる。更に、レンズ３４００及び／又は照明系の他の光学要素１９０の動的な回転は、補償効果の決定との組合せで光学系の欠陥補償のための制御ループを構成することを可能にする。

【０２５５】

図３０から図３４では、レンズ３０００、３１００、３２００、３３００，及び３４００の関連で本発明の原理の適用を解説する。しかし、説明する原理は、照明系１６０内のそれぞれの位置に挿入される１つ又はいくつかの追加光学要素に適用することができることを理解しなければならない。

【０２５６】

図３３の解説において上述したように、歪み誘起複屈折分布の補償効果は、フォトリソグラフィ投影露光系１００の照明系又はＲＥＭＡ対物系１６０内での光学要素１９０の位置に依存する。

【０２５７】

図３５は、平行平面石英板の形態にある追加光学要素３５３０を略示している。石英板３５３０は、図３２のレンズ３２００の複屈折分布３２３０を含む。石英板は、図１に点線１７５で表す視野平面３５１０から照明系１６０内の瞳平面３５２０（図１に点線１６８で略示す）までシフトされる。

【０２５８】

図３６ａは、石英板３５３０が図３５の位置ａに配置された場合に、石英板３５３０によって図３２の透明開口３２３０内に生成される部分開口３６１０、３６２０、３６３０、３６４０、及び３６５０の変化を示している。位置ａは、視野平面３５１０に近い。リターデーションは、部分開口３６１０、３６２０、３６３０、及び３６４０内で＋６ｎｍ（赤色）から－６ｎｍ（青色）まで変化する。中心の部分開口３６５０は、その区域３６５０にわたってリターデーション変化を実質的に全く示さず、リターデーション量は実質的にゼロ（緑色）である。図３２のレンズ３２００と同様に、石英板３５３０は、ビーム経路内の位置ａにおいて、回転対称であるリターデーション分布のゼルニケＺ６寄与を補償する。更に、ゼルニケＺ６寄与は、視野平面３５１０にわたって一定である。

【０２５９】

位置ｅでは、すなわち、瞳平面３５２０の近くでは、石英板３５３０は、視野非依存ゼ

ルニケZ_3寄与を補償する。図３６ｆは、石英板３５３０の位置ｅにおける部分開口３６１０から３６５０を略示している。図３６ｆから分るように、リターデーションは、各部分開口３６１０から３６５０内で系統的に変化する。その一方、リターデーションは、部分開口３６１０から３６５０の各々にわたって実質的に均一に変化する。

【０２６０】

視野平面３５１０と瞳平面３５２０の間で実質的に中間にある位置、すなわち、図３５の位置ｃでは、図３６ａのゼルニケＺ６寄与と図３６ｆのゼルニケZ_3寄与の両方の補償がほぼ拮抗する。図３６ｃは、この状況を略示している。

【０２６１】

石英板３５３０を図３５の位置ａから位置ｆにシフトさせると、ゼルニケＺ６寄与は徐々に低下し、それに対してゼルニケZ_3寄与は、同時に徐々に増大する。特に、図３５の中間位置、すなわち、位置ｂ、ｃ、及びｄ、特に位置ｃにおける配置は、既存の照明系１６０において発生する上述の寄与が重ね合わされたものを補償することを強調しておく。

【０２６２】

図３５及び図３６の状況で解説した例示的な欠陥補償は、単一の石英板３５３０の適用に限定されない。そうではなく、２つ又はそれよりも多くの石英板を使用することもできる。更に、視野平面３５１０と瞳平面３５２０の間で石英板３５３０をシフトさせることによる欠陥補償は、図３０から図３４の解説において記述した１つ又はいくつかの石英板３５３０の回転と組み合わせることができる。

【０２６３】

図３７は、薄肉レンズ３７００（ａ）及び厚肉レンズ３７５０（ｂ）内の光路を略示している。薄肉レンズでは、その厚みを事実上無視することができ、それに対して厚肉レンズでは無視することができない。薄肉レンズ３７００は、光学的有効区域３７１０と光学的に無効な境界区域３７２０とを有する。同じく厚肉レンズ３７５０も、光学的有効区域３７６０と境界区域３７７０とを有する。図３７ａは、光軸３７２５から始まり、レンズ３７００を光線３７３５として通って、光軸３７２５と平行な光線３７４０としてレンズ３７００を射出する光線３７３０を示している。

【０２６４】

境界区域３７２０内に、局所持続性修正配置３７４５が導入される。図３７ａから分るように、光線３７３５は、光軸３７２５に対して非常に小さい角度のみを有するので、ピクセル配置３７４５によって誘起される歪みは、光軸３７２５に対して実質的に垂直な平面に存在する。

【０２６５】

図３７ｂも、光軸３７７５で始まり、レンズ３７５０を光線３７８５として通り、光軸３７７５と平行な光線３７９０としてレンズ３７５０を射出する光路３７８０を示している。図３７ａと同様に、ピクセル配置３７９５も、レンズ３７５０の光学的無効区域３７７０の中心に書き込まれる。しかし、図３７ａとは対照的に、ピクセル配置３７９５によって導入される歪みの方向は、レンズ３７５０内の光線３７８５に対して垂直ではなく、光線３７８５の方向と平行な成分を有する。

【０２６６】

図３８は、厚肉レンズ３７５０内の光線方向３７８５と平行であるピクセル配置の歪み誘起複屈折成分を回避する２つの異なる局所持続性修正配置を示している。図３８ａのレンズ３８００では、境界区域３８２０内でレンズ３８００の面までの一定の深さを有するが、レンズ３８００の面輪郭を辿るピクセル配置３８３０が、境界区域３８２０内に書き込まれる。

【０２６７】

ピクセル配置３８３０は、レンズ３８００の光学的有効区域３８１０内に光線３７８５に対してほぼ垂直な歪み分布を生成し、従って、この歪み分布は、図３７の光線３７８５の方向に実質的に成分を持たない。

【０２６８】

図３８ｂは、光線方向３７８５と平行な横方向歪み誘起複屈折の問題を解決する代替手法を示している。図３８ｂでは、レンズ３８５０の光学的無効区域３８２０内に図３７の光線方向３７８５と平行な歪み成分を実質的に回避する２つの異なる局所持続性修正配置３８６０と３８７０が導入される。

【０２６９】

更に、厚肉光学要素内で光線方向３７８５と平行な歪み成分を実質的に阻止する様々な他のピクセル配置を適用することができる。更に、図３８ａの手法と図３８ｂの手法を組み合わせることができる。

【０２７０】

最後に、更に別の代替手法では、厚肉レンズ３８００及び３８５０の光学的有効区域３８１０及び３８６０内に光学透過率変化を生成することなく予め決められた歪み分布を生成するピクセル配置を図３８ａ及び図３８ｂのレンズ３８００及び３８５０の光学的有効区域３８１０及び３８６０内に導入することもできることを再度強調しておく。

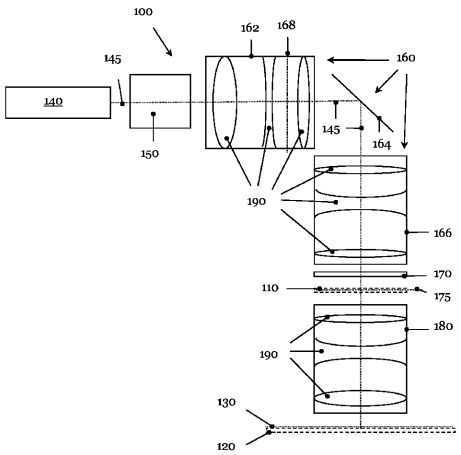
【符号の説明】

【０２７１】

３００　装置
３１０　光学要素
３３０　パルスレーザ光源
３３５　光ビーム
３４０　フォーカス対物系

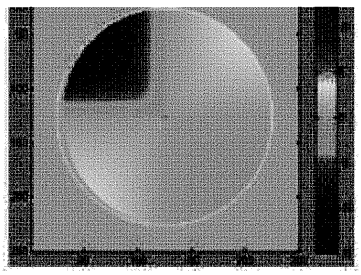
【図１】

Fig. 1



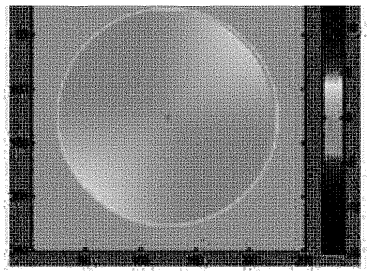
【図２ａ】

Fig. 2a



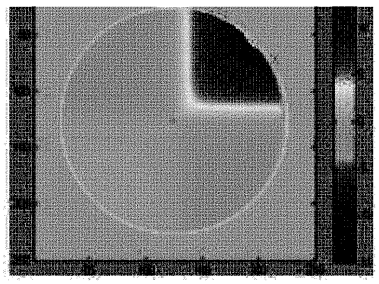
【図２ｂ】

Fig. 2b



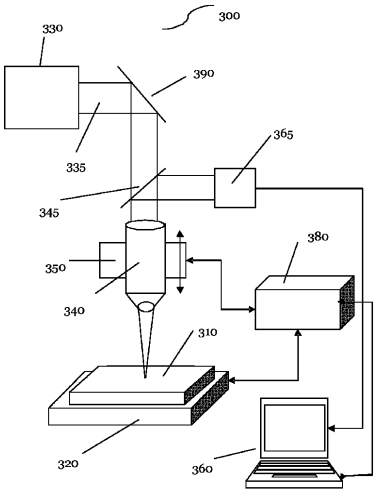
【図２ｃ】

Fig. 2c



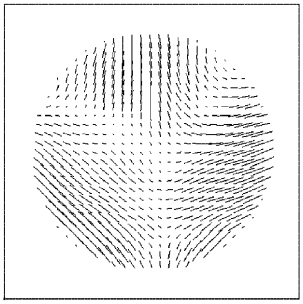
【図３】

Fig. 3



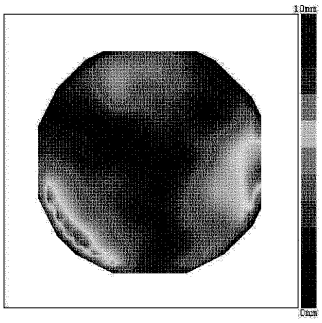
【図４ａ】

Fig. 4a



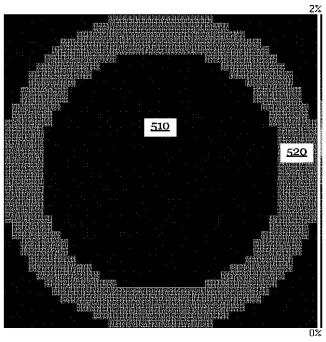
【図４ｂ】

Fig. 4b



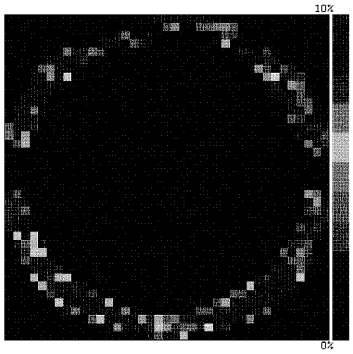
【図５】

Fig. 5



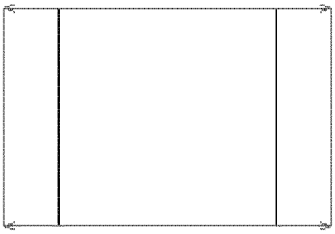
【図６ｂ】

Fig. 6b



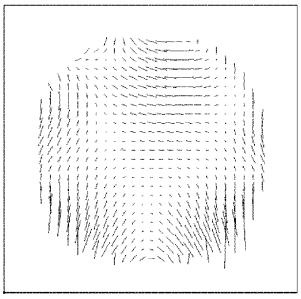
【図６ａ】

Fig. 6a



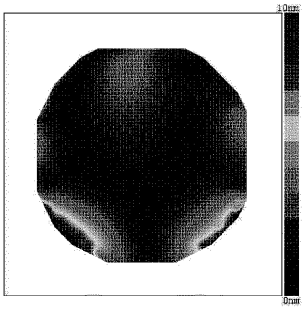
【図６ｃ】

Fig. 6c



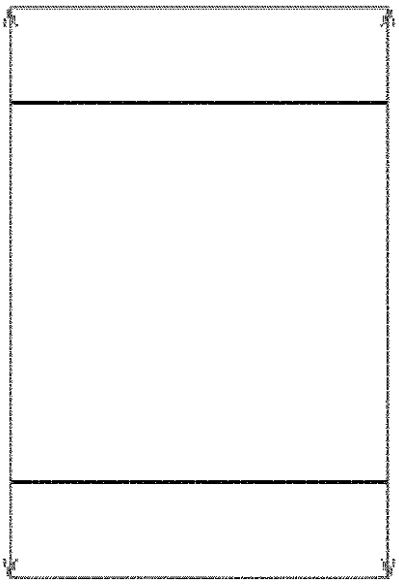
【図６ｄ】

Fig. 6d



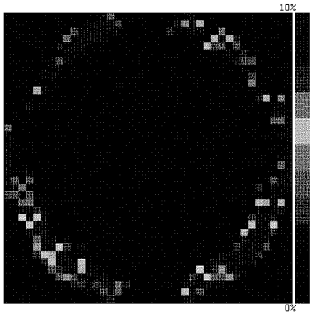
【図７ａ】

Fig. 7a



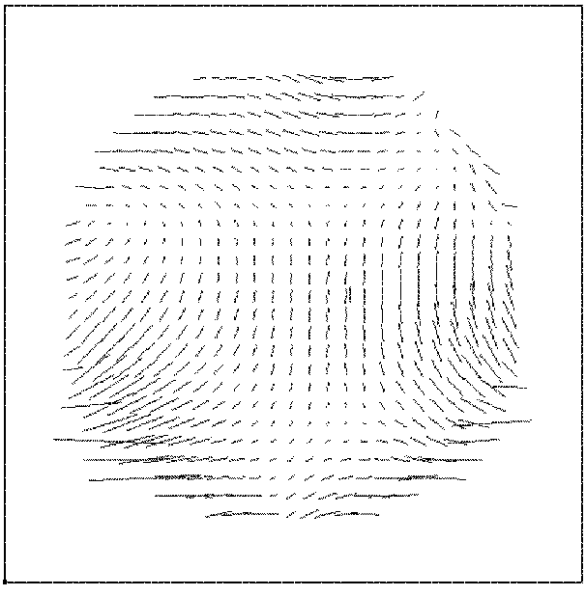
【図７ｂ】

Fig. 7b



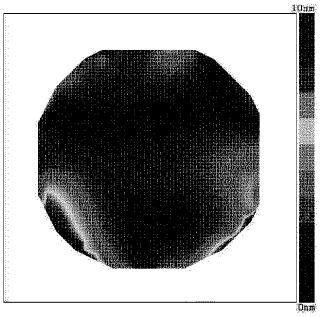
【図７ｃ】

Fig. 7c



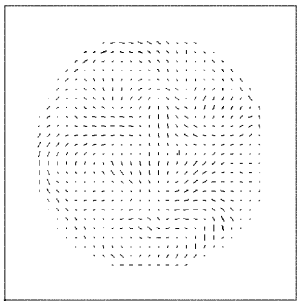
【図７ｄ】

Fig. 7d



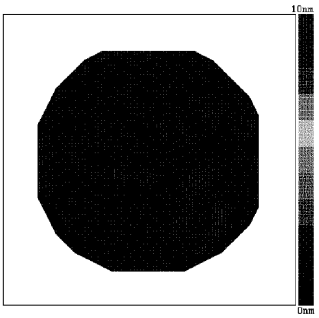
【図８ａ】

Fig. 8a



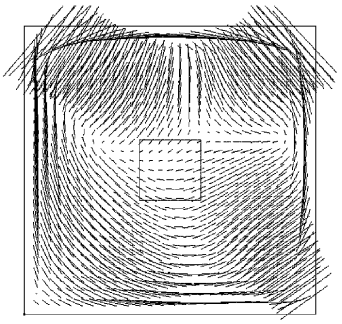
【図８ｂ】

Fig. 8b



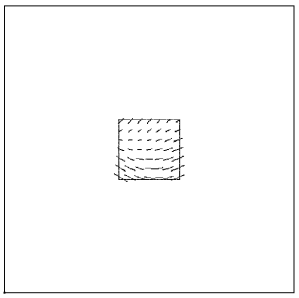
【図９ａ】

Fig. 9a



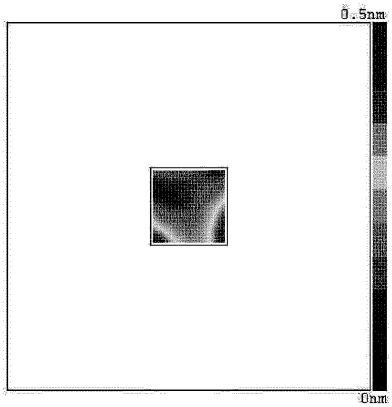
【図９ｂ】

Fig. 9b



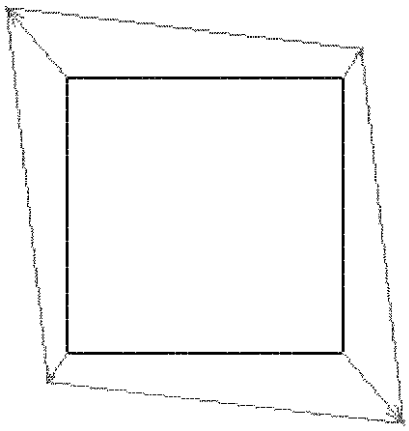
【図９ｃ】

Fig. 9c



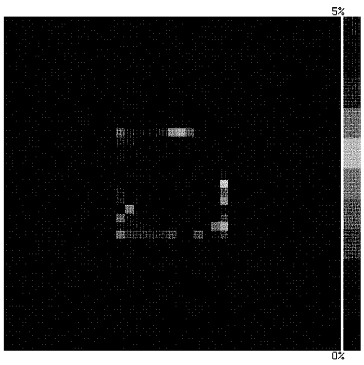
【図１０ａ】

Fig. 10a



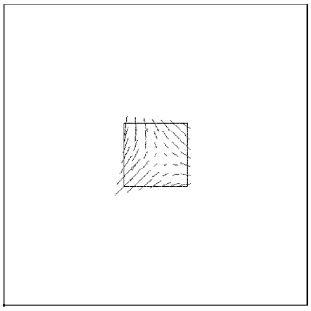
【図１０ｂ】

Fig. 10b



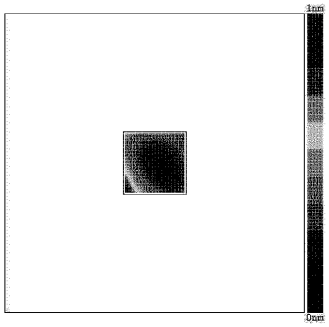
【図１０ｃ】

Fig. 10c



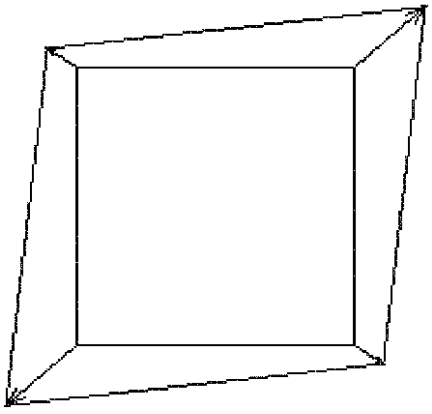
【図１０ｄ】

Fig. 10d



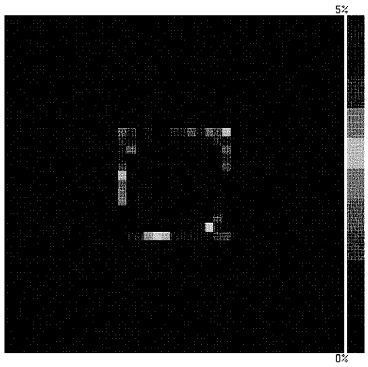
【図１１ａ】

Fig. 11a



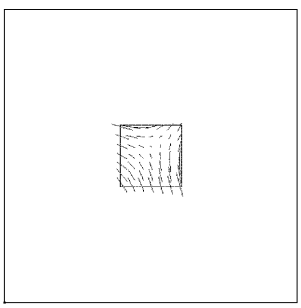
【図１１ｂ】

Fig. 11b



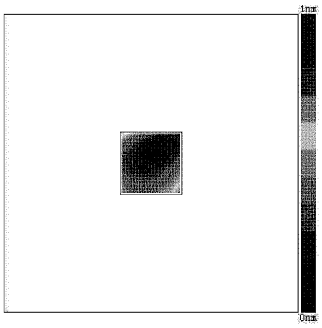
【図１１ｃ】

Fig. 11c



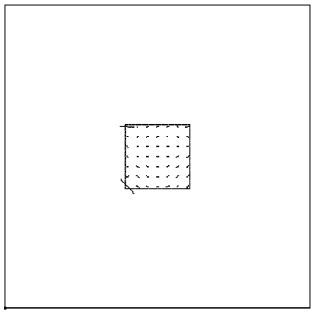
【図１１ｄ】

Fig. 11d



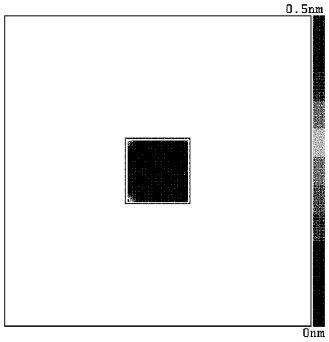
【図１２ａ】

Fig. 12a



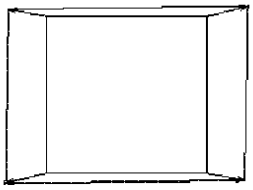
【図１２ｂ】

Fig. 12b



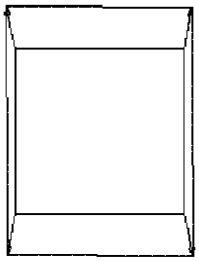
【図１４ａ】

Fig. 14a



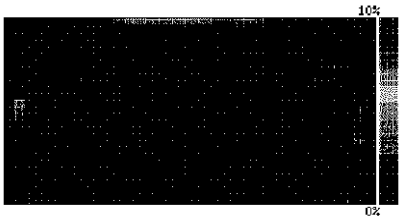
【図１４ｂ】

Fig. 14b



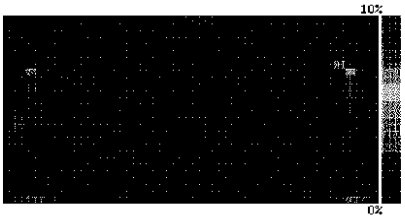
【図１５ａ１】

Fig. 15a1



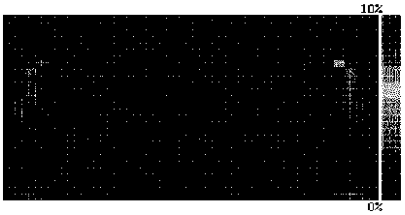
【図１５ａ２】

Fig. 15a2



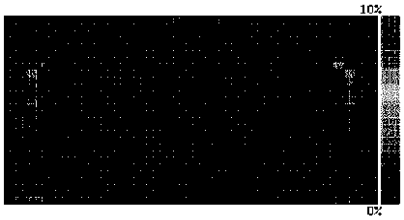
【図１５ａ３】

Fig. 15a3



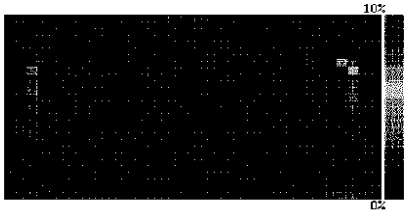
【図１５ａ４】

Fig. 15a4



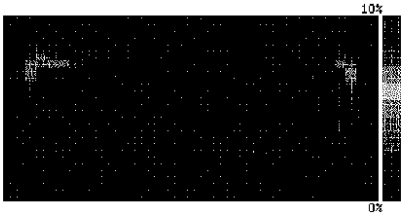
【図１５ａ５】

Fig. 15a5



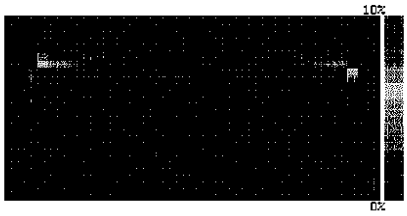
【図１５ｂ１】

Fig. 15b1



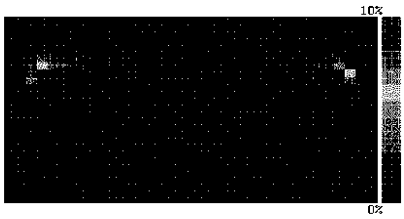
【図１５ｂ２】

Fig. 15b2



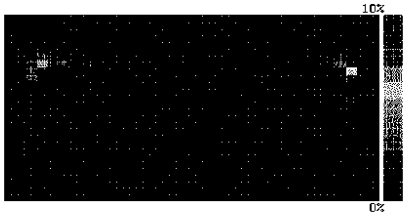
【図１５ｂ３】

Fig. 15b3



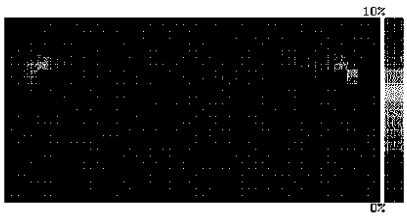
【図１５ｂ４】

Fig. 15b4



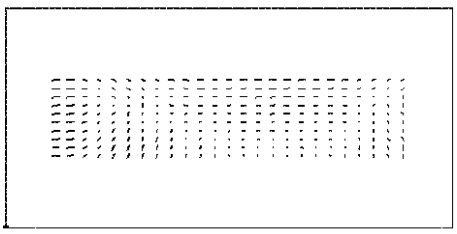
【図１５ｂ５】

Fig. 15b5



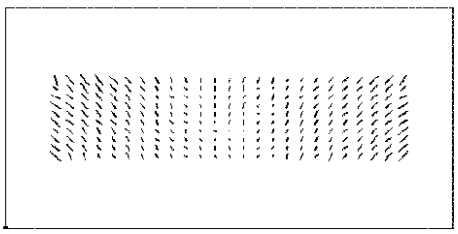
【図１６ａ０】

Fig. 16a0



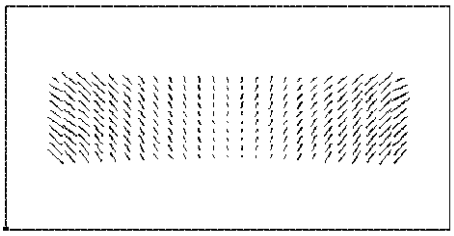
【図１６ａ１】

Fig. 16a1



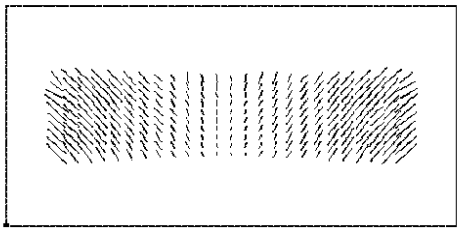
【図１６ａ２】

Fig. 16a2



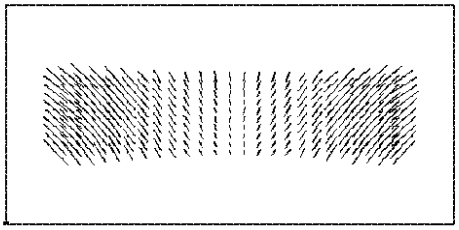
【図１６ａ３】

Fig. 16a3



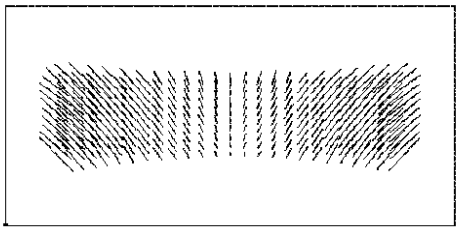
【図１６ａ４】

Fig. 16a4



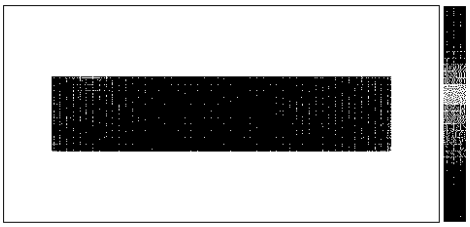
【図１６ａ５】

Fig. 16a5



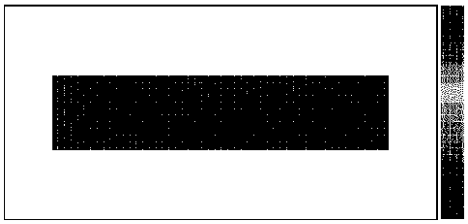
【図１６ｂ１】

Fig. 16b1



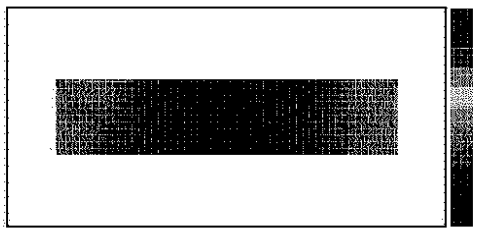
【図１６ｂ０】

Fig. 16b0



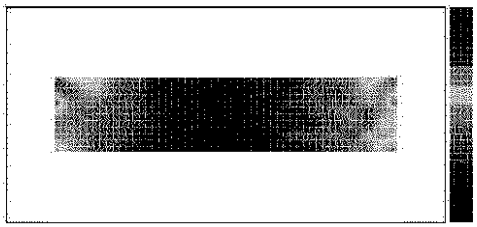
【図１６ｂ２】

Fig. 16b2



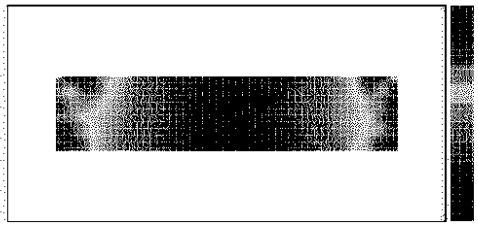
【図１６ｂ３】

Fig. 16b3



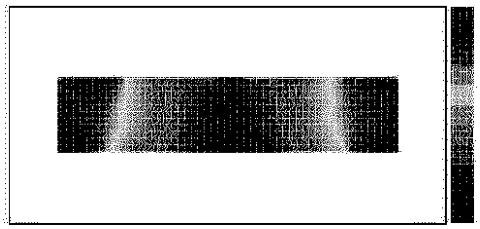
【図１６ｂ４】

Fig. 16b4



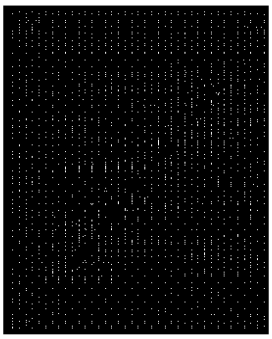
【図１６ｂ５】

Fig. 16b5



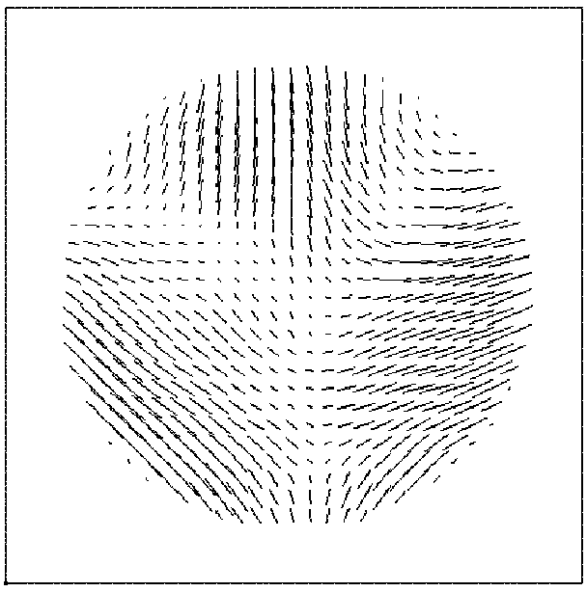
【図１８】

Fig. 18



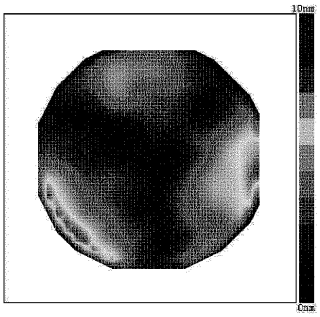
【図１９ａ】

Fig. 19a



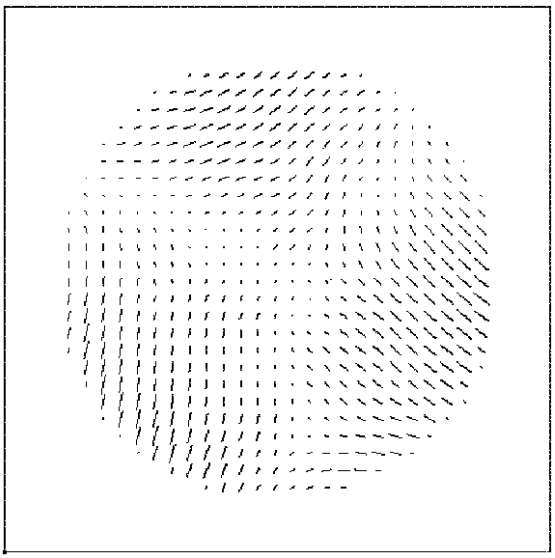
【図１９ｂ】

Fig. 19b



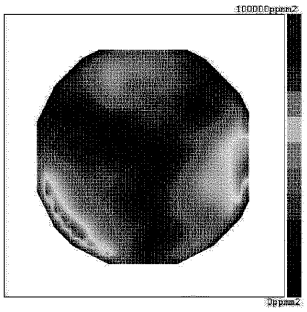
【図２０ａ】

Fig. 20a



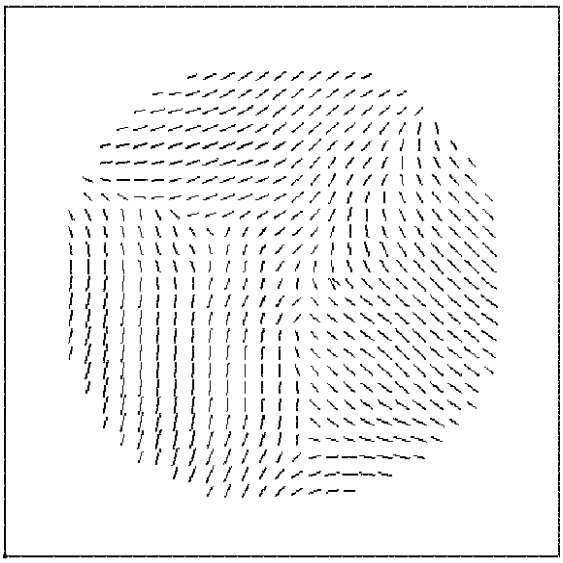
【図２０ｂ】

Fig. 20b



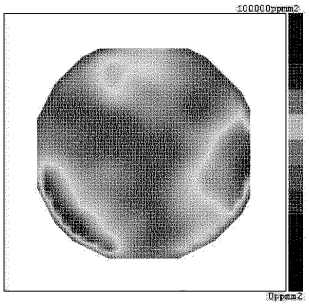
【図２１ａ】

Fig. 21a



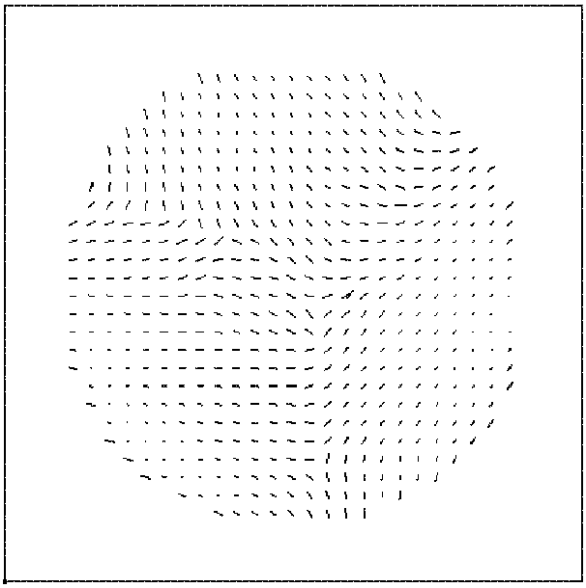
【図２１ｂ】

Fig. 21b



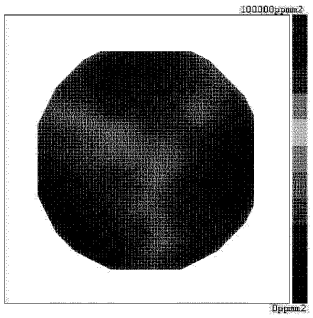
【図２１ｃ】

Fig. 21c



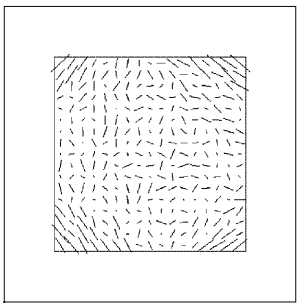
【図２１ｄ】

Fig. 21d



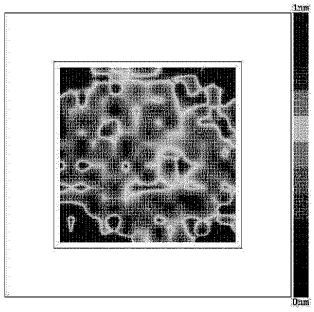
【図２２ａ】

Fig. 22a



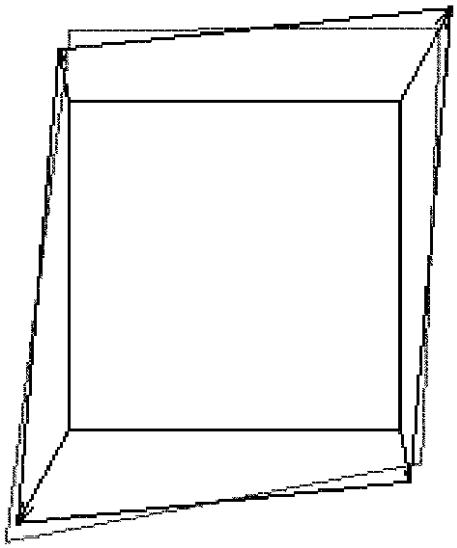
【図２２ｂ】

Fig. 22b



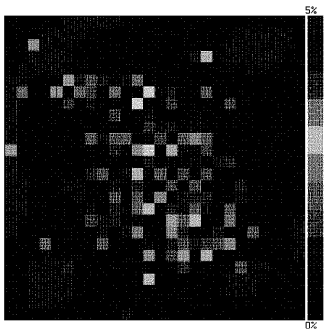
【図２３】

Fig. 23



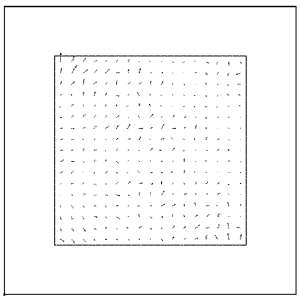
【図２４】

Fig. 24



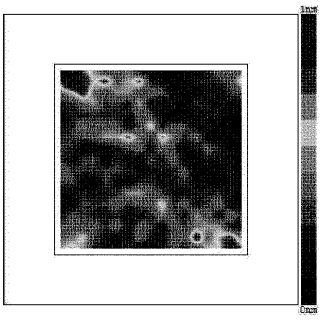
【図２５ａ】

Fig. 25a



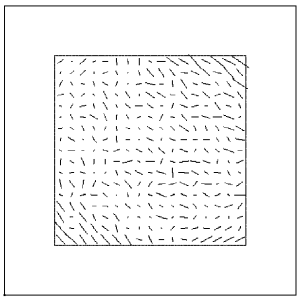
【図２５ｂ】

Fig. 25b



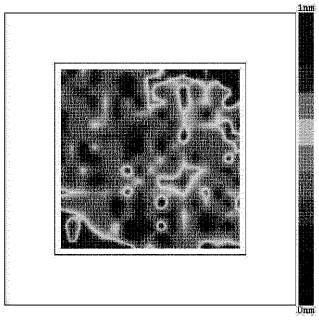
【図２６ａ】

Fig. 26a



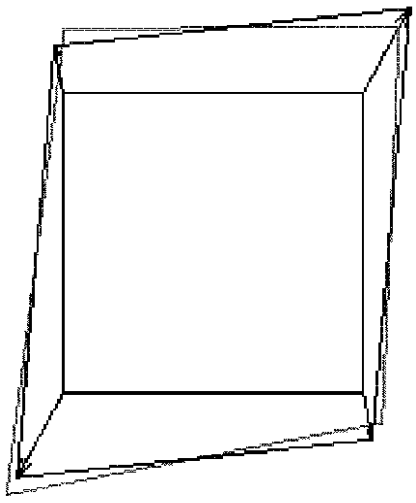
【図２６ｂ】

Fig. 26b



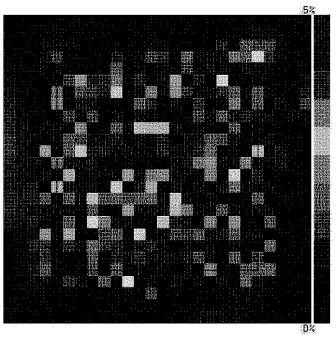
【図２７ａ】

Fig. 27a



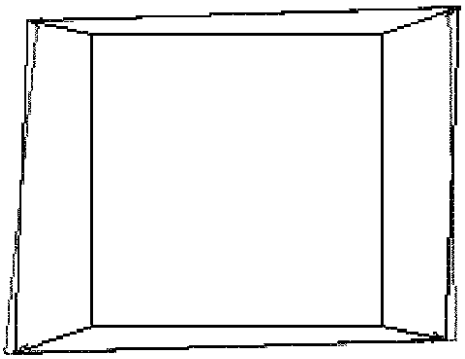
【図２７ｂ】

Fig. 27b



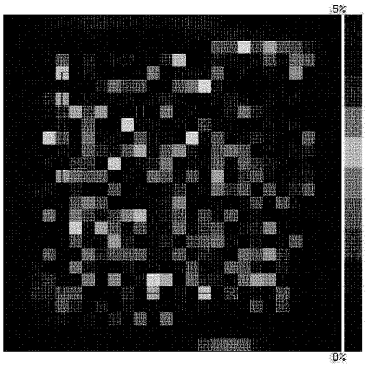
【図２７ｃ】

Fig. 27c



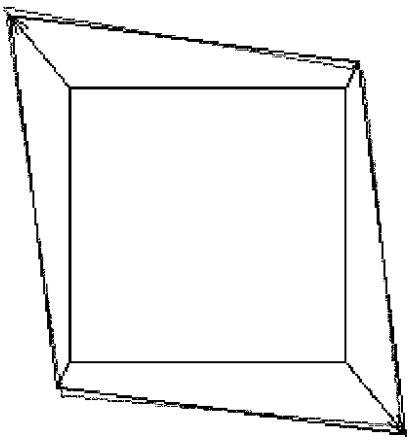
【図２７ｄ】

Fig. 27d



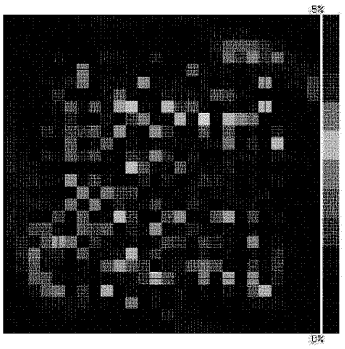
【図２７ｅ】

Fig. 27e



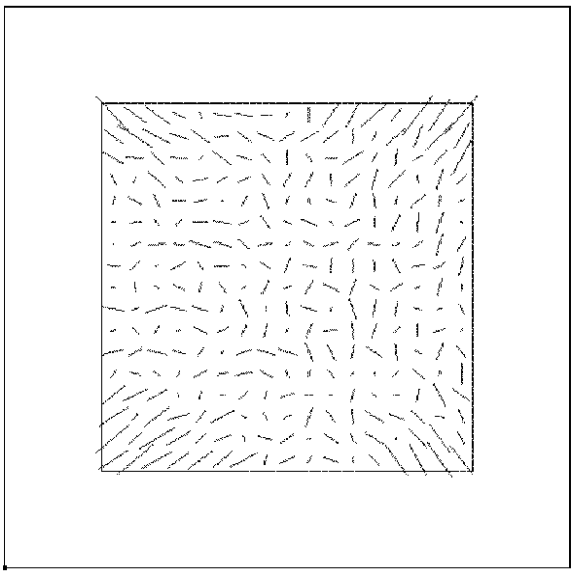
【図２７ｆ】

Fig. 27f



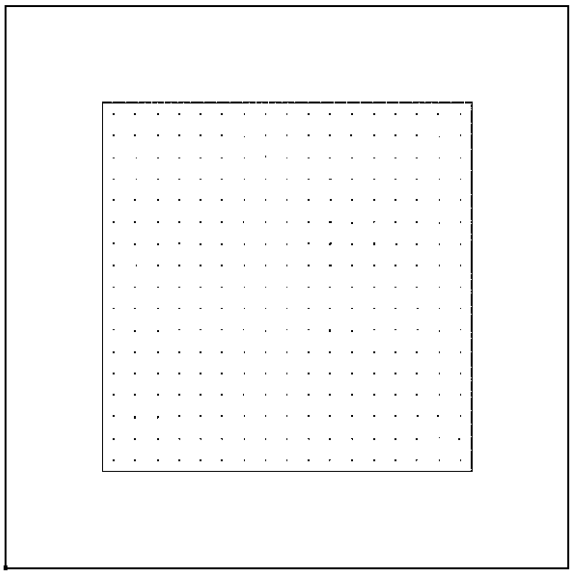
【図２８】

Fig. 28



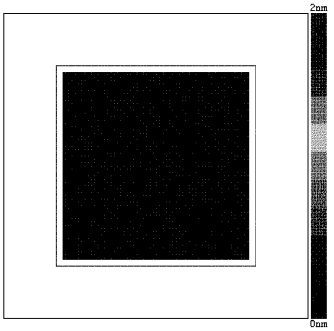
【図２９ａ】

Fig. 29a



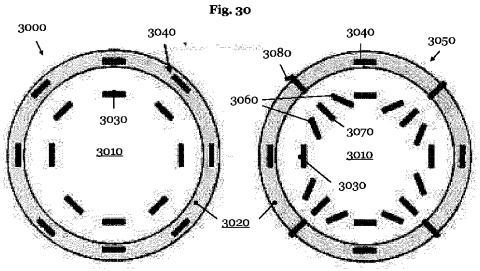
【図２９ｂ】

Fig. 29b



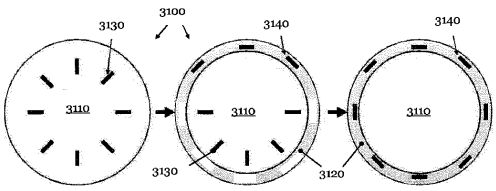
【図３０】

Fig. 30



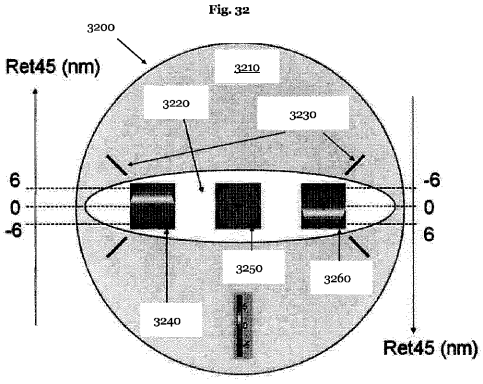
【図３１】

Fig. 31



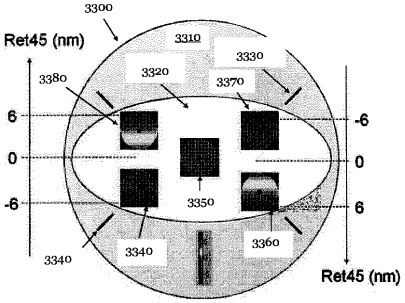
【図３２】

Fig. 32



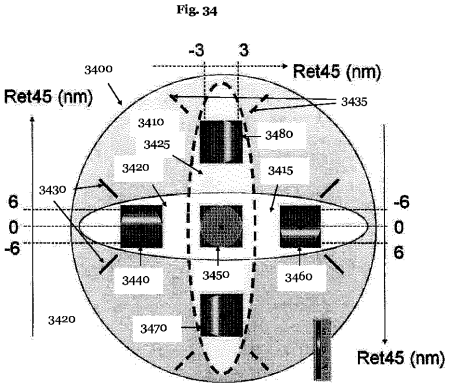
【図３３】

Fig. 33



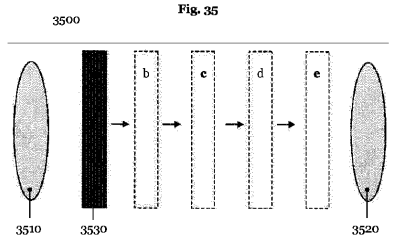
【図３４】

Fig. 34



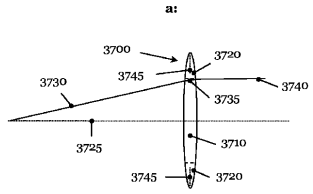
【図３５】

Fig. 35



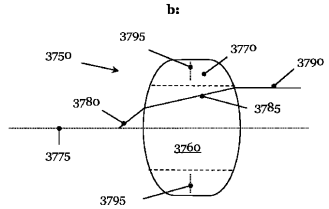
【図３７ａ】

a:



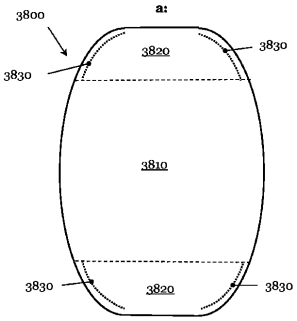
【図３７ｂ】

b:



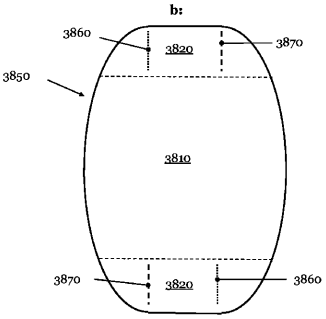
【図３８ａ】

a:



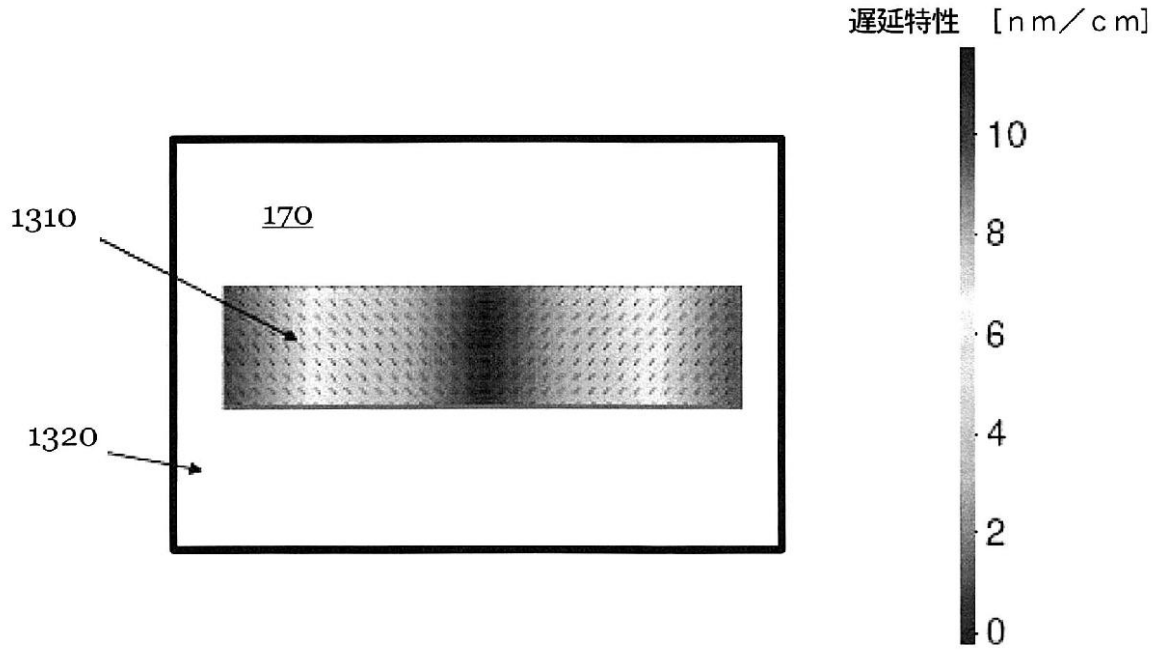
【図３８ｂ】

b:



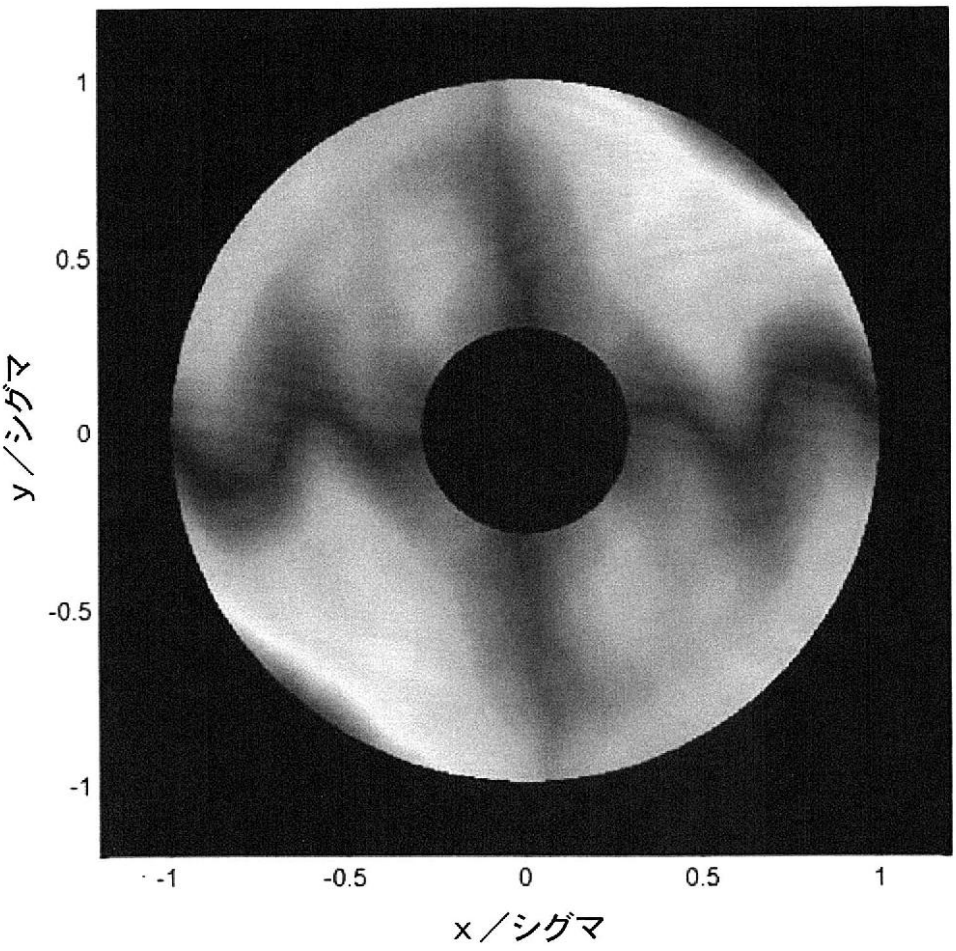
【図１３】

Fig. 13



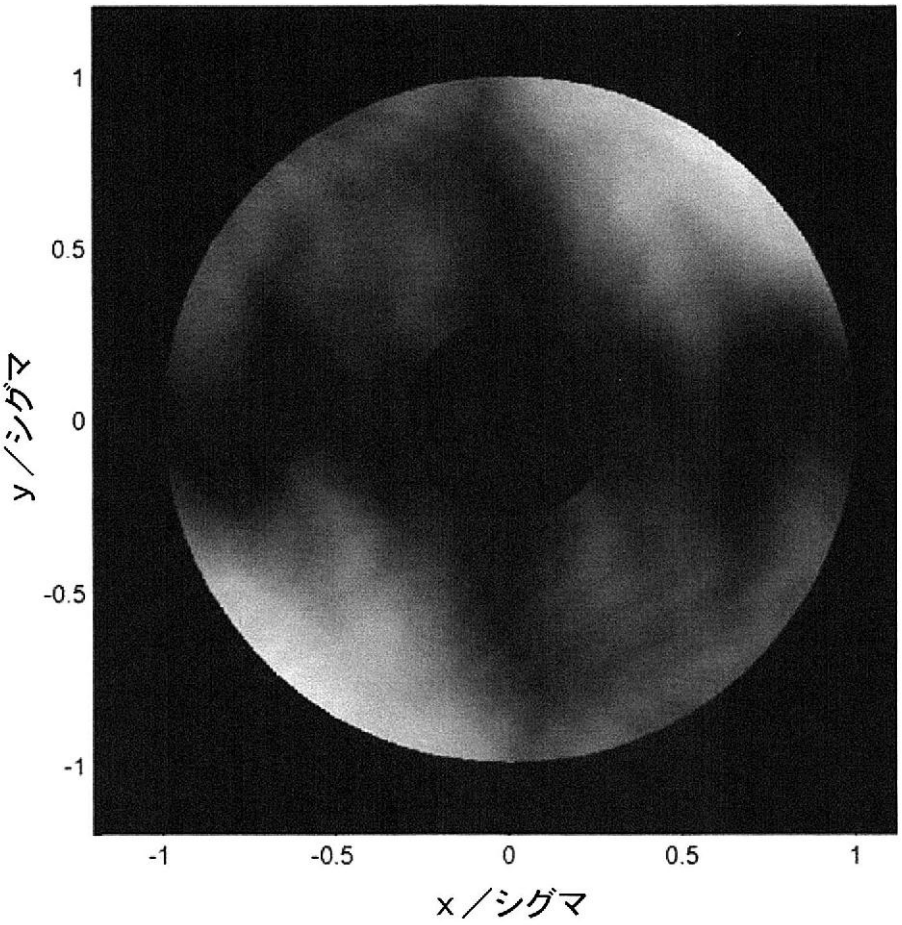
【図１７ａ】

Fig. 17a



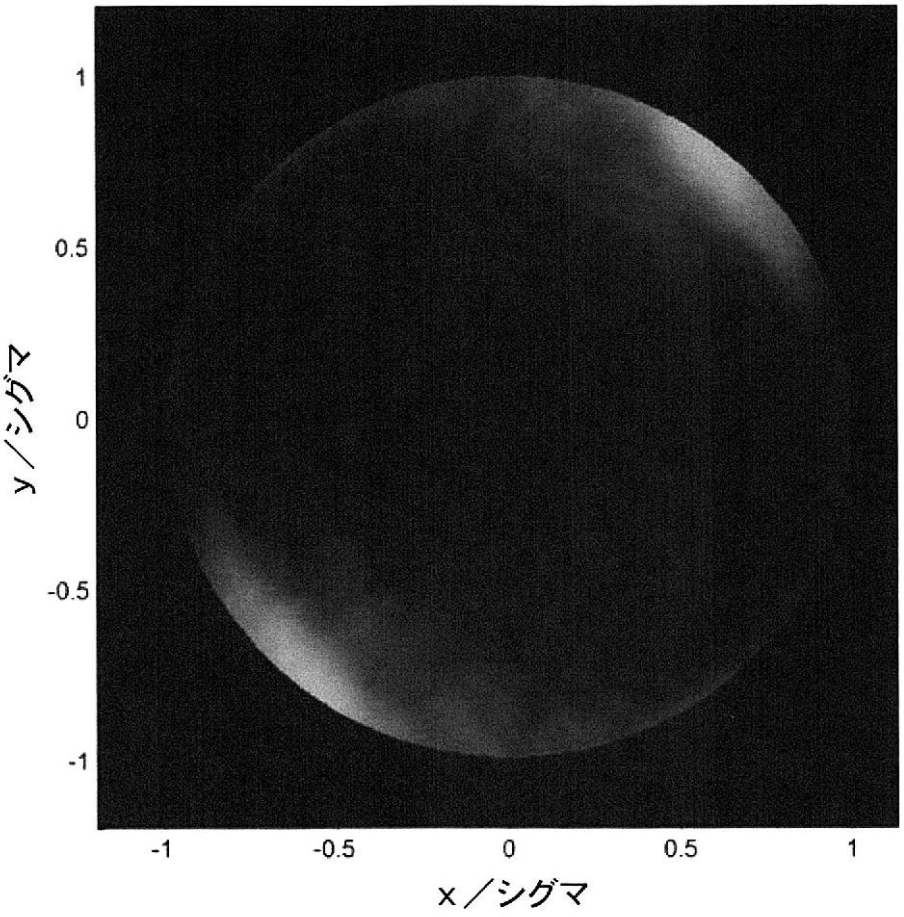
【図１７ｂ】

Fig. 17b



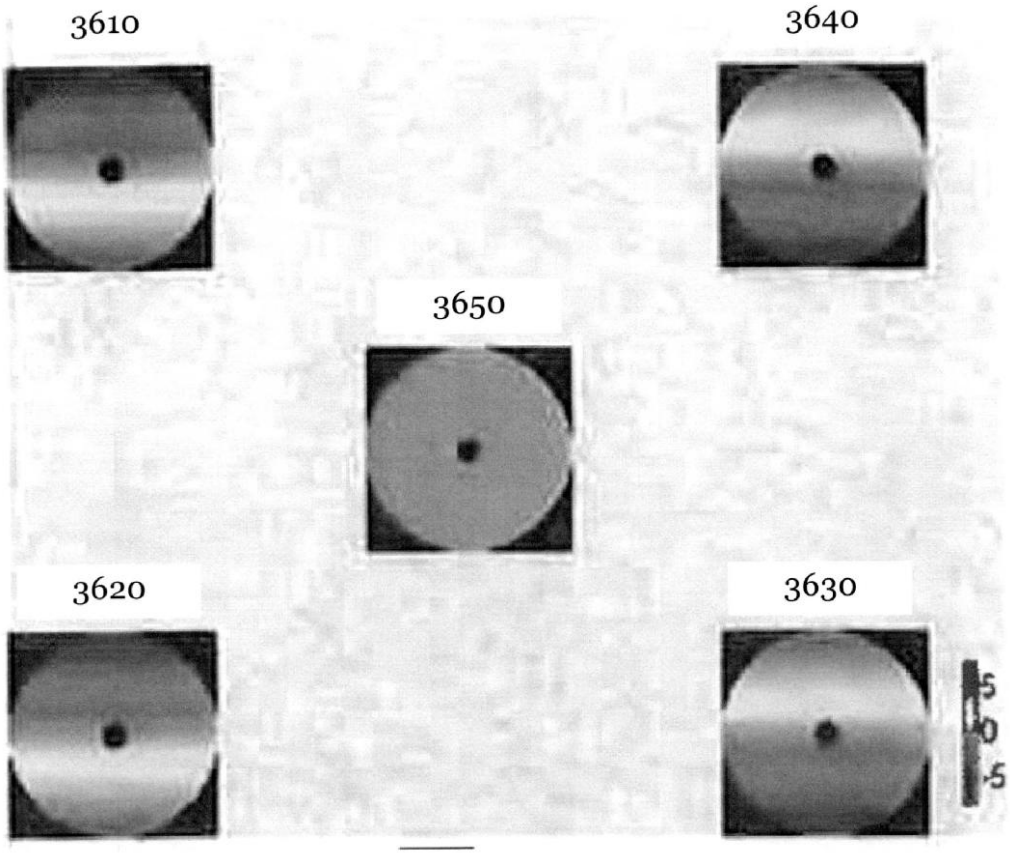
【図１７ｃ】

Fig. 17c



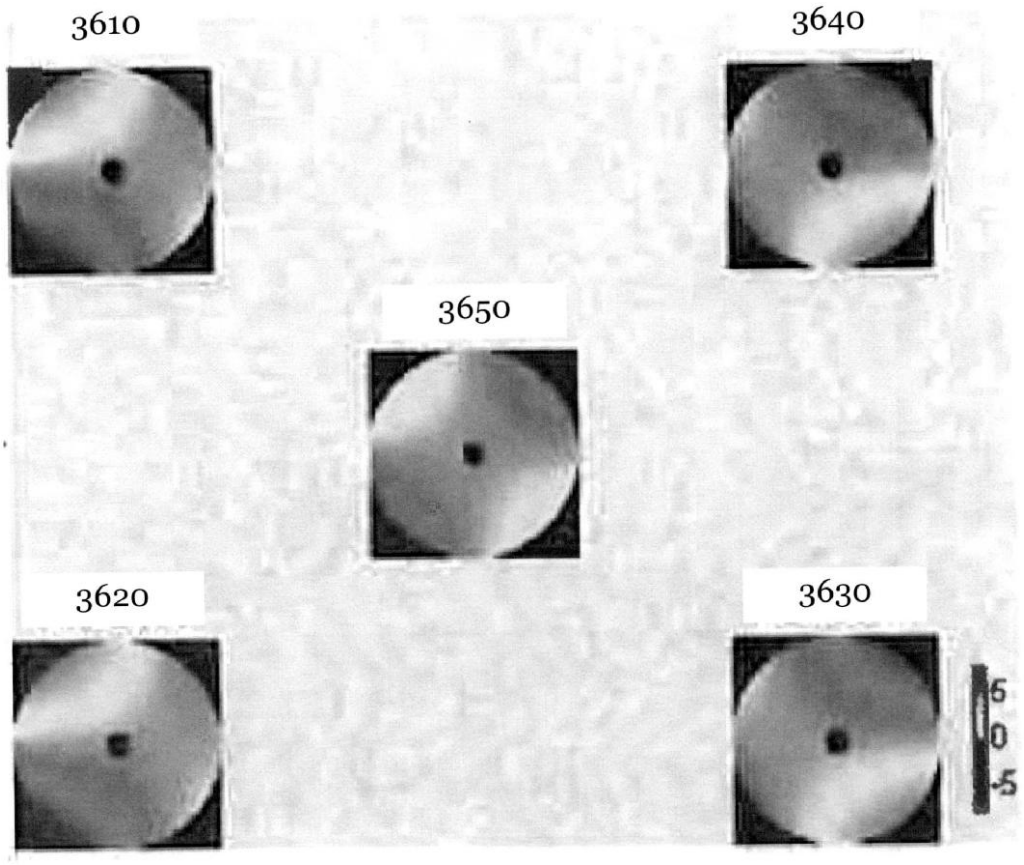
【図３６ａ】

Fig. 36a （図３５の位置ａにおけるもの）



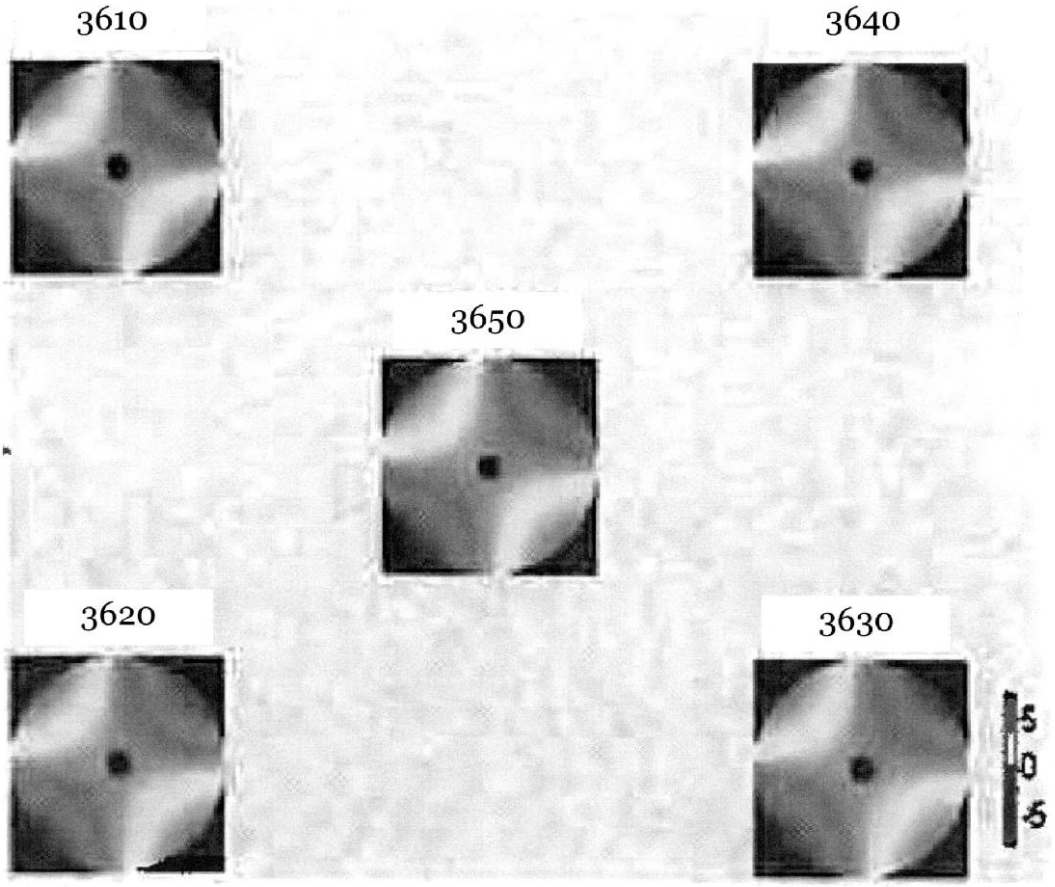
【図３６ｂ】

Fig. 36b （図３５の位置ｃにおけるもの）



【図３６ｃ】

Fig. 36c （図３５の位置ｅにおけるもの）



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/052909

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G03F7/20
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G03F G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 6 728 021 B1 (KOHL ALEXANDER [DE] ET AL) 27 April 2004 (2004-04-27) abstract; figure 1 column 1, line 50 - column 3, line 33 -----	1-10, 12-23 24-26
X	GOTTLIEB G ET AL: "CORRECTING ACLV BY MASK SUBSTRATE TUNING", MICROLITHOGRAPHY WORLD, PENNWELL CORPORATION, US, vol. 16, no. 1, 1 February 2007 (2007-02-01), pages 10-12, XP002520122, ISSN: 1074-407X pages 1-2 -----	1-3,5-9, 11, 14-19, 21-24
	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
9 November 2012	28/11/2012

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Weckesser, Jens

2

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/052909

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2008/062397 A1 (NAM DONG-SEOK [KR] ET AL) 13 March 2008 (2008-03-13) paragraphs [0077] - [0088]; figure 7 -----	1,3,5, 7-9, 12-19, 21-24,26
Y	MARTYNAS BERESNA ET AL: "Polarization sensitive elements fabricated by femtosecond laser nanostructuring of glass [Invited]", OPTICAL MATERIALS EXPRESS, vol. 1, no. 4, 29 July 2011 (2011-07-29), page 783, XP55043657, DOI: 10.1364/OME.1.000783 abstract section 4. Conclusions -----	24-26

2

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2012/052909

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6728021 B1	27-04-2004	NONE	
US 2008062397 A1	13-03-2008	KR 100809329 B1	07-03-2008
		US 2008062397 A1	13-03-2008

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN

(74)代理人 100067013
弁理士 大塚 文昭
(74)代理人 100086771
弁理士 西島 孝喜
(74)代理人 100109070
弁理士 須田 洋之
(74)代理人 100109335
弁理士 上杉 浩
(74)代理人 100120525
弁理士 近藤 直樹
(72)発明者 ドミトリエフ ウラジミール
イスラエル ２１７２１ カルミエル バズ １０５
(72)発明者 ゼンガー インゴ
ドイツ連邦共和国 ８９５２２ ハイデンハイム ヴァンゲンミューレ ４
(72)発明者 シュレゼナー フランク
ドイツ連邦共和国 ７３４４７ オーバーコッヘン ネルケンヴェーク ２
(72)発明者 メンゲル マルクス
ドイツ連邦共和国 ８９５２２ ハイデンハイム テーレ ２７
(72)発明者 ルオッフ ヨハネス
ドイツ連邦共和国 ７３４３１ アーレン ドロステ ヒュルスホフ ヴェーク ３５

Ｆターム(参考) 2H149 AA21 AB05 DA02 DA12 FB08
5F146 CB08 CB12 CB43 DA01 DA11