

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載
 【部門区分】第 7 部門第 2 区分
 【発行日】平成 20 年 7 月 3 日 (2008.7.3)

【公表番号】特表 2008-502127 (P2008-502127A)
 【公表日】平成 20 年 1 月 24 日 (2008.1.24)
 【年通号数】公開・登録公報 2008-003
 【出願番号】特願 2007-513861 (P2007-513861)
 【国際特許分類】

H 0 1 L 21/027 (2006.01)
 G 0 3 F 7/20 (2006.01)
 G 0 2 B 5/20 (2006.01)
 G 0 2 B 17/08 (2006.01)
 G 0 2 B 13/00 (2006.01)

【F I】

H 0 1 L 21/30 5 1 5 D
 G 0 3 F 7/20 5 2 1
 G 0 2 B 5/20
 G 0 2 B 17/08 Z
 G 0 2 B 13/00

【手続補正書】
 【提出日】平成 20 年 5 月 15 日 (2008.5.15)
 【手続補正 1】
 【補正対象書類名】特許請求の範囲
 【補正対象項目名】全文
 【補正方法】変更
 【補正の内容】
 【特許請求の範囲】
 【請求項 1】

照明系及び投影対物レンズを有する投影露光装置であって、投影対物レンズが、吸収率 $> 0.03 \text{ cm}^{-1}$ の光学的有効素子を含み、この光学的有効素子が位置付けられている位置において、上側開口光線及び下側開口光線の光路長が、投影対物レンズの光軸から少なくとも 6 mm の距離の物体位置から各々生じていて、光学的有効素子の領域で 15 % を超えて異なっていることにより、透過プロファイルのエラーを発生させており、投影露光装置が、透過プロファイルのエラーを補正するための補正素子を備えている、投影露光装置。

【請求項 2】

補正素子が、視野及びひとみにわたる透過を有し、これが光学的有効素子によって生じる透過プロファイルに関して反対に延在している、請求項 1 に記載の投影露光装置。

【請求項 3】

吸収率が測定される、請求項 1 又は 2 に記載の投影露光装置。

【請求項 4】

光学的有効素子が、屈折率 $n > 1.6$ 、好ましくは $n > 1.8$ 、又はさらに $n > 1.9$ である、請求項 1、2 又は 3 に記載の投影露光装置。

【請求項 5】

光学的有効素子が、投影対物レンズの像面に面する表面を有し、その表面が平坦であり、その表面の像面からの距離が投影光の波長の 4 倍より短く又はさらに波長より短い、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 6】

投影対物レンズの像側幾何学的開口 NA が、 0.6 を超える、特に 0.75 又はさらに 0.85 を超える値を有する、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 7】

投影対物レンズの像側開口数 NA が、 0.9 を超える、特に 1.1 又はさらに 1.3 を超える値を有する、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 8】

光学的有効素子が、液体又は固体である、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 9】

光学的有効素子が、像面の前の最後の光学的有効素子である、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 10】

光学的有効素子が、液浸対物レンズの液体レンズである、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 11】

液体が水である、請求項 8 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 12】

液体レンズの、物体面に面する側が、平面である、請求項 10 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 13】

液体レンズの、物体面に面する側が、凸状である、請求項 10 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 14】

補正素子が、照明系及び / 又は投影対物レンズに取り付けられた空間変化型、角度変化型、又は空間且つ角度変化型フィルタ素子からなる、請求項 1 ~ 13 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 15】

少なくとも 1 つのフィルタ素子が、照明系内に位置しており、このフィルタ素子が、照明系に関連する第 2 投影対物レンズの視野面の近傍に位置する空間変化型のものであり、又は、このフィルタ素子が、照明系に関連する第 2 投影対物レンズのひとみ面の近傍に位置する角度変化型のものであり、その場合、好ましくは、近傍を説明するパラメータについて $= 0.1$ 又は $= 0.2$ 又は $= 0.4$ が選択される、請求項 14 に記載の投影露光装置。

【請求項 16】

少なくとも 1 つのフィルタ素子が、投影対物レンズ内に位置しており、このフィルタ素子が、投影対物レンズの視野面の近傍に位置する空間変化型のものであり、又は投影対物レンズのひとみ面の近傍に位置する角度変化型のものである、請求項 14 ~ 15 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 17】

少なくとも 1 つのフィルタ素子が、投影対物レンズ内に位置しており、このフィルタ素子が、投影対物レンズの視野面の近傍に位置する角度変化型のものであり、又は、このフィルタ素子が、投影対物レンズのひとみ面の近傍に位置する空間変化型のものである、請求項 14 ~ 16 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 18】

少なくとも 1 つのフィルタ素子が、投影対物レンズ内に位置しており、このフィルタ素子が、投影対物レンズの視野面又はひとみ面の近傍に位置する空間且つ角度変化型のものである、請求項 14 ~ 17 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 19】

フィルタ素子が、投影対物レンズの中間領域に位置している、請求項 14 ~ 18 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 20】

フィルタ素子が、照明系からの光又は投影光に対して光学的に有効な表面上に層プロファイルで生成されていて、空間変化型フィルタ素子が、空間変化型の透過を有する層によって生成されており、角度変化型フィルタ素子が、角度依存型の透過を有する層プロファイルによって生成されており、空間且つ角度変化型フィルタ素子が、空間変化型の透過を有する層プロファイル及び角度依存型の透過を有する層プロファイルの組み合わせによって生成されている、請求項 14 ~ 19 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 21】

少なくとも 1 つのフィルタ素子が、ニュートラルフィルタ構成部品を有する、請求項 14 ~ 20 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 22】

投影露光装置が、ニュートラルフィルタ構成部品によって吸収された熱を補償するための装置を有する、請求項 21 に記載の投影露光装置。

【請求項 23】

層の少なくとも 1 つが、少なくとも部分的に反射性である、請求項 20 ~ 22 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 24】

投影露光装置が、部分的に反射する層によって生成された外来光を、補償するための装置を有する、請求項 23 に記載の投影露光装置。

【請求項 25】

少なくとも 1 つのフィルタ素子が、交換可能又は挿入可能である、請求項 14 ~ 23 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 26】

投影露光装置が、第 2 光学的有効素子を有し、この第 2 光学的有効素子が、フィルタ素子の交換又は挿入から生じる像エラーの第 2 補正に寄与する、請求項 25 に記載の投影露光装置。

【請求項 27】

第 2 光学的有効素子による第 2 補正が、素子の位置の変更又は素子の形の変更によって生じている、請求項 26 に記載の投影露光装置。

【請求項 28】

第 2 光学的有効素子の形の変更が、素子の表面の材料の除去によって、又は素子に対する若しくは素子内部での力の作用によって生じている、請求項 27 に記載の投影露光装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】強度変化の補償を伴う投影系及びそのための補償素子

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して、強度変化の補償を伴う投影系及びそのための補償素子に関する。

【0002】

本発明はまた、投影対物レンズの物体面上に配置されたパターンを投影対物レンズの像面上に結像するための投影対物レンズに、また基板を有する光学構成部品であって、少なくとも 1 つの基板表面を干渉層システムで覆った光学構成部品に関する。光学構成部品は、特に反射屈折又は屈折投影対物レンズに組み込むために設けられる、又はそれらに組み込まれることができる。

【0003】

本発明はまた、優先権主張日の前に公開されていない米国特許出願第 60 / 592208 号、第 60 / 530978 号、第 60 / 591775 号又は第 60 / 612823 号に記載されているような、特に浸漬リソグラフィ用の投影露光装置に関する。その浸漬媒質は、液体、好ましくは水である。

【0004】

本発明はさらに、たとえば米国特許出願第 2003 / 174301 A1 号に記載されているような、特に近視野リソグラフィ (SIL リソグラフィ (固体浸漬レンズ) の同義語) 用の投影露光装置に関する。

【背景技術】

【0005】

マイクロリソグラフィの投影露光装置は、半導体構成部品及び他の微細パターン装置の作製に使用される。それらは、フォトマスク又はレチクル (以下の説明では全体的にマスク又はレチクルと呼ぶ) のパターンを、感光層で被覆した物体、たとえばフォトレジストで被覆した半導体ウェハ上に非常に高い分解能で縮小して投影するのに役立つ。

【0006】

半導体構成部品をフォトリソグラフィで作製する処理では、すべての構造体方向 (特に水平及び垂直構造体) をほぼ同一の結像品質で結像することが極めて重要である。リソグラフィ対物レンズの結像品質は、収差の補正状態だけでなく、視野全体及び各視野点のひとみ全体での強度のプロファイルによっても決定される。視野及びひとみでのプロファイルは、できる限り均一であるものとする。像面での局部強度変調は回避されなければならないが、それは特に、今日では通例である二元レジスト材料は、第 1 近似で、強度閾値より上で露光が行われ、強度閾値より下で露光が行われないことによってモデル化されることができ強い非線形の感度特性曲線を有するからである。その結果、空間強度プロファイルは、半導体構成部品上に生成された構造体の幅に直接的に影響する。視野全体及び異なる構造体方向全体での線幅が均一であるほど、完成半導体構成部品を使用するときのクロック周波数が、またそれに対応して完成半導体構成部品の性能及び価格がそれだけ高いであろう。したがって、限界寸法の変化 (CD 変化) は、重要な品質判定基準である。

【0007】

限界寸法の変化は、代替的又は蓄積的に効果を有するさまざまな原因を有するであろう。特に、偏光で作動する光学系では、入射角に依存する干渉層システムの反射又は透過特性が、視野及びひとみ全体での強度の不均一をもたらすであろう。この問題部分は、純粹屈折 (屈折光学的) 結像系の場合に発生するであろう。上記原因は、特に反射屈折投影対物レンズにおいて、すなわち屈折及び反射構成部品、特にレンズ及び結像鏡が組み合わされる光学系において発生するであろう。結像鏡面を使用するとき、不明瞭さをなくし、且つけられをなくした結像を達成しようとする場合、ビームスプリッタを使用することが有利である。幾何学的ビーム分割を伴う光学系や、物理的ビーム分割、たとえば偏光ビーム分割を伴う光学系も可能である。そのような投影対物レンズに鏡面を使用することは、結像中に CD 変化が発生する原因になるであろう。

【0008】

合成石英ガラスや、フッ化カルシウムなどのフッ化物結晶を使用するとき、これらの材料が複屈折することをさらに考慮に入れなければならない。それらは、誘発及び/又は固有複屈折のために、通過する光に対して偏光変化効果を引き起こすことがあり、それらの効果によっても同様に、CD 変化が発生する。最後になるが、材料欠陥、たとえば透明構成部品内の散乱中心又は光条も、強度分布の不均一性をもたらすであろう。

【0009】

また、吸収性光学素子、特に浸漬媒質、特に浸漬液、固体浸漬レンズ (SIL)、又は高屈折率の他の屈折光学材料は、視野及びひとみ依存型透過分布を、したがって透過プロファイルのエラーをもたらす。

【0010】

本出願人が 2004 年 1 月 19 日に出願したドイツ特許出願第 DE 102004002

634.3号の優先権を主張して本出願人が2004年2月24日に出願した国際特許出願第PCT/EP2004/001779号は、浸漬リソグラフィ用に構成されたマイクロリソグラフィ露光装置であって、投影対物レンズの像側の最後の光学素子と像面との間に形成して浸漬液を満たした浸漬内部空間に、像側の最後の光学素子からある入射角で入射する光線が、その入射角が小さいほど、それだけ強く減衰されるようにして構成されて投影対物レンズ内に配置された透過フィルタを投影対物レンズ内に設けた、マイクロリソグラフィ露光装置を開示している。そのPCT出願の全開示内容は、本出願の一部を構成する。

【0011】

投影露光装置の使用期間が長くなると、素子の透過挙動の変更によってその透過分布が変化する。このため、投影露光装置のメンテナンスが必要である。

【0012】

光学系の透過挙動は、ひとみ濾過又はアポディゼーションによって変更されることがあり、通過する放射光の強度分布及び放射光に位相角の両方に介入する可能性があることがわかっている。米国特許第5,222,112号は、専ら鏡構成部品で作動する極紫外線(EUV)用の投影系を記載しており、この場合、多重被覆鏡でのs及びp偏光の異なる反射率のために、結像性能の劣化が発生しうる。投影対物レンズのひとみ面の領域内に配置された凸面鏡は、光学系の結像特性を改善するために、反射率が鏡の縁部に向かって減少する回転対称的な反射率分布を有する。軟X線を透過する、対応の回転対称的な透過関数を有する透過フィルタが、代替として挙げられる。反射率の空間変調が十分に大きい鏡を作製するために多くの可能性が挙げられる。1つの可能性は、反射多重干渉層システムを、個々の層の層厚さが、中心から縁部まで連続的に増加又は減少するようにして(漸変厚さ多層)構成することにある。論じられる他の可能性には、多層被膜内の層対の数の変更、多層被膜の作製後のイオン注入、又は多層被膜上に適当な層厚さ分布で吸収層を生成することがある。いずれにしても、ひとみ面の領域内に配置された鏡は、空間周波数フィルタとして作用する。反射被膜の構造についての詳細な情報は記載しない。

【0013】

国際特許出願第WO02/077692A1号は、たとえば、レンズが屈折率の不均一又は形状欠陥をある程度有していても、波面収差が極めて小さい投影対物レンズを提供することができることを意図した光学系を作製する方法を提供している。その方法は、レンズの作製に使用された光学材料の屈折率分布を測定する測定ステップと、レンズの表面形状を決定する表面測定ステップとを有する。レンズの光学エラー又は波面エラーが、測定結果に基づいて決定される。その計算結果に基づいて、光学被膜がレンズ上に生成され、該光学被膜は、波面エラーを最小限に抑えるのに適する所定の厚さ分布を有する。したがって、被膜は、被覆光学構成部品で可能な限り均一な位相を確保するように構成される。

【特許文献1】国際特許出願第PCT/EP2004/001779号

【特許文献2】米国特許第5,222,112号

【特許文献3】国際特許出願第WO02/077692A1号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

本発明の目的は、限界寸法の変化を実質的に伴わないか、わずかに伴うだけである結像を可能にする投影系を提供することである。

【0015】

本発明の別の目的は、干渉層システムで被覆され、且つ結像中にほぼ均一な強度分布を得るための補正素子として投影対物レンズ内に使用することができる光学構成部品を提供することである。

【0016】

本発明の別の目的は、コントラストの大幅な損失を容認する必要なく、浸漬リソグラフィの利点を利用する投影露光系を提供することである。

【 0 0 1 7 】

本発明の別の目的は、浸漬光学系の結像品質の長期的安定性を確保するための手段を提供するために投影露光系を提供することである。

【 0 0 1 8 】

上記及び他の目的は、独立請求項に従った投影対物レンズ、投影露光装置、光学素子及び方法によって達成される。

【 0 0 1 9 】

有利な発展が、従属請求項に記載されている。すべての請求項の表現は、明細書の内容になる。

【 発明の実施の形態 】

【 0 0 2 0 】

投影対物レンズの物体面上に配置されたパターンを投影対物レンズの像面上に結像するための、本発明の一態様による投影対物レンズは、複数の光学構成部品を物体面及び像面に有する。光学構成部品の少なくとも1つが基板を有し、その少なくとも1つの基板表面が、その光学構成部品の有効断面全体にわたって反射率及び/又は透過率の空間変調が大きい干渉層システムで覆われ、その変調を、投影対物レンズの残りの構成部品の空間透過分布に適応させ、それにより、ひとみ面上に存在する放射光の強度分布が、干渉層システムを備えない投影対物レンズに比べて相当に減少した空間変調を有するようにしている。

【 0 0 2 1 】

基板を有する光学構成部品であって、その少なくとも1つの基板表面が、光学構成部品の有効断面全体にわたって反射率及び/又は透過の空間変調が大きい干渉層システムで覆われている、光学構成部品は、投影対物レンズ内の1つ又は複数の源によって生じる正味強度コントラストによって引き起こされる透過率プロファイルのエラーを補正するための補正素子として有効である。正味強度コントラストは、ひとみ効果又は視野効果の3%を超えるであろう。

【 0 0 2 2 】

したがって、本発明の1つの態様は、光学特性の、製造公差のために生じる不可避変調を相当に超える程度まで、光学的効率が有効面積全体で空間的に変調する干渉層システムにより、ひとみ面の領域内での位置依存型強度変動を補償することである。したがって、特に、投影対物レンズ内の適当な場所又は領域で少なくとも1つの干渉層システムの効果を狙い通りに「低下させる」ことが提案されている。この場合、干渉層システムは任意選択で、反射システム（鏡層）として、又は反射減少システム（反射防止）被膜として形成されることができる。このタイプの従来型干渉層システムでは、通常は有効表面全体にわたって可能な限り均一な効率（反射率及び/又は透過率）を得ることが必要である。この場合、製造公差の状況から、均一効果からのずれは不可避であり、絶対反射率又は透過率に対して何分の一又は数パーセントであることが多い。それとは異なり、本発明による干渉層システムの効果は、選択された場所で、たとえば少なくとも1つの低反射領域が鏡面上に存在する、又は反射防止力がわずかだけである少なくとも1つの領域が反射防止被膜上に存在するような程度まで大幅に、狙い通りに低下させられる。

【 0 0 2 3 】

そのような干渉層システムは、それを光学系内の適当な位置に配置し、それにより、当たる強度の空間不均一分布が干渉層システムの効果によってより均一になるようにすることにより、強度変動の補償に使用されることができる。たとえば、当たる放射光束が、特に高強度の領域で不均一な空間強度分布を有する場合、たとえば、高い放射強度の領域が、相当に低い屈折率の領域に当たり、それにより、反射光束での強度分布がより均一になるように、鏡層を配置することが可能である。当たる光の強度が特に高い領域内で、反射減少効果を隣接領域と比べて、隣接領域より高い強度が反射される程度まで減少させ、その結果として、光学構成部品を通過する放射光の強度分布をより均一にすることができるようにする反射防止層システムにより、対応の効果を達成することができる。

【 0 0 2 4 】

干渉層システムが反射被膜である場合、反射率の変調の大きさは好ましくは、干渉層システムの最大反射率の約 3 % を超える、特に約 5 % ~ 約 2 0 % であろう。このように、たとえば、ある入射角について、反射率が有効表面全体で、複数年パーセント、たとえば約 2、4、6、8 又は 1 0 % 以上変化する高反射層システム (H R 層) を生じることが可能である。

【 0 0 2 5 】

干渉層システムが反射防止被膜である場合、所定の入射角について、変調の大きさは好ましく最小反射率の 5 0 % を超える、特に 1 0 0 % ~ 5 0 0 % を超える値になるであろう。特に変調の大きさは、干渉層システムの反射率が表面の少なくとも 1 つの領域で、未被覆基板の反射率の約 5 0 % を超える、特にその 1 0 0 % を超える値になるほど大きいであろう。既知のように、この残留反射率は、リソグラフィ対物レンズに使用される多くの透明材料の場合、約 4 % 近辺にあるが、「良好な」反射防止被膜は、多くの場合に残留反射率を 1 % 以下にすることができる。

【 0 0 2 6 】

より高い、又は低い反射又は透過効果を有する領域の空間分布を任意の適当な方法で衝突放射光の空間強度分布に適応させ、それにより、所望の補償効果を達成することが可能である。この場合、透過率及び / 又は反射率の変調は、たとえば光学構成部品の光軸に関して回転対称的であることができる。また、干渉層システムの反射率及び / 又は透過率が、光軸に対して方位変調を、特に 2 重、3 重、4 重又は 6 重対称性を有する放射形対称変調を有することも可能である。そのような実施形態は、特定の結晶方向を有する結晶材料の固有複屈折のために生じる強度変調を補償するために特に有効であろう。干渉層システムが、その光学効果の非対称的空間変調を、たとえば光軸に対して直角方向に連続的に増加又は減少する透過及び / 又は反射率を有するプロファイルを、又は低下効率の領域の任意の他の分布を有することも可能である。

【 0 0 2 7 】

可能な限り正確な補償効果を達成するために、所望プロファイルからのずれがわずかにすぎない干渉層システムの反射率又は透過率の局部プロファイルを生成することが必要である。これは、1 つの発展によれば、干渉層システムが、上下に重なった、高屈折率及び低屈折率を交互に有する誘電材料を含む複数の個別層を有し、周囲に隣接する外側層が、層厚さの変調が大きい局部層厚さ分布を有することによって達成される。反対に、下側の層は、製造公差の状況で均一である層厚さを有するであろう。適当であれば、最外層の層厚さは、最小層厚さが最大層厚さの 9 0 %、8 0 %、6 0 %、4 0 % 又は 2 0 % 未満であるように大きく変化する。この結果として、反射被膜の場合及び反射防止被膜の場合の両方で、反射率又は透過率の大きい変調を、局部的に望ましい効率の高い絶対精度で得ることが可能である。適当であれば、領域によっては最外層の層厚さをゼロまで減らしてもよい。

【 0 0 2 8 】

最外層は、高屈折率を有する材料を含んでもよい。そのような構造は、主に反射被膜には通例である。また、最外層は、低屈折率を有する材料を含むことができる。反射被膜では多くの場合にそうである。幾つかの実施形態では、少なくとも最外層は、四分の一波長層 ($\lambda/4$ 層) として寸法が定められる。この場合、四分の一波長層とは、層材料の屈折率 n と幾何学的層厚さ d との積が、 nd を光学系の動作波長とする場合に $\lambda/4 \pm 10\%$ の値になる層を表す。干渉層システムの個別層の複数年又はすべてを四分の一波長層として形成してもよい。

【 0 0 2 9 】

干渉層システムの効率の空間変調をさまざまな方法で生じることができる。一例は、所定の空間分布に従って、高エネルギー放射光を、特にイオンビームを完成干渉層システムに照射し、それにより、照射によって変化した層構造体を生じようとするを伴う。この場合、イオンビームを、たとえばコンピュータ数値制御式に、処理すべき表面全体に

案内することができ、処理強度は、表面上のさまざまな位置にそれが留まる期間によって設定されることができる。この場合、たとえば大きい層厚さ変化を伴う最外層の所望の層厚さ分布を生じるように、層構造体を変化させることができる。代替又は追加として、層の吸収率を照射によって増加させることができ、これは、反射防止被膜の透過の減少に、又は反射被膜の反射率の低下に利用されることができる。したがって、層厚さ変化を生じるために、特に最外層の層材料の局部的除去及び／又は変更を利用することができる。

【0030】

塗布すべき個別層の層厚さ変化を、被覆処理中に狙い通りに生じることにより、層特性の所望の空間分布も達成することができる。それ自体既知のダイアフラム方法をこの目的に利用することができる、その場合、被覆処理中、基板表面の一部を材料源と被覆すべき基板との間の遮蔽ダイアフラムによって時々遮蔽し、それにより、所望の層厚さプロファイル及び／又は特定の層特性を達成できるようにする。光学被膜の特性に影響を与えるダイアフラム方法は、たとえば本出願人のドイツ特許出願第DE 10237430.9号及びそれに引用されている書類にも記載されている。異なった非回転対称層厚さプロファイルを生じるための特別なダイアフラム方法を実施形態でより詳細に説明する。

【0031】

本発明はまた、基板を有する光学構成部品であって、少なくとも1つの基板表面が、その光学構成部品の有効断面全体にわたって高い変調の大きさと、反射率及び／又は透過率の空間変調が大きい干渉層システムで覆われている、光学構成部品を作製する方法にも関する。本方法は特に、層厚さの変調が大きい空間層厚さ分布で干渉層システムの最外層を作製することを含み、その場合、最小層厚さは好ましくは、最大層厚さの80%又は60%又は40%又は20%未満でよい。下側の層は、ほぼ均一な層厚さを有してもよい。一例の方法は、最初に外側層を与えられる最大層厚さで塗布し、次に、層材料の局部的除去により、たとえばイオンビームエッチング（スパッタリング）により、反射率及び／又は透過率の所望の空間変調をもたらす外側層の所望層厚さ分布を生じることを含む。

【0032】

本発明による光学構成部品は、さまざまな光学系で使用されることができる。好適な応用分野は、高性能結像系、特にマイクロリソグラフィ用の投影対物レンズである。反射屈折投影対物レンズ、すなわち、凹面鏡と、投影対物レンズの物体面から来た放射光を凹面鏡の方向に向けるため、且つ／又は凹面鏡から反射した放射光を下流側の対物レンズ部の方向に偏向するために設けられている対応のビーム偏向装置とを含む少なくとも1つの反射屈折対物レンズ部を有する投影対物レンズでの使用が特に有利である。好ましくは純粋に屈折型（屈折光学的）に構成される少なくとも1つのさらなる対物レンズ部を反射屈折対物レンズ部の後方及び／又は前方に配置することが、多くの場合に好都合である。本発明はまた、純粋屈折型投影対物レンズの場合、又はより大きい結像系の純粋屈折部分対物レンズ内に使用されることもできる。本発明は、少なくとも1つの実中間像を有する投影対物レンズの場合や、物体視野が直接的に、すなわち中間像を伴わないで、像視野に結像される投影対物レンズの場合にも等しく使用されることができる。

【0033】

たとえば、浸漬液などの吸収材料によって起きる透過プロファイルの上記エラーは、光学素子の正味強度コントラストとして決定されることができる。これは、ひとみ効果及び視野効果を有する。

【0034】

本発明の一態様による投影露光装置は、透過に影響を与える、特にフィルタ付きの補正素子を備える。該補正素子は、浸漬媒質によって起きる視野依存型及びひとみ依存型透過分布を補正する。この場合、光学素子の透過挙動に大きく影響するパラメータ、特に透過指数を決定することが好都合である。

【0035】

補正素子が投影露光装置、特に投影対物レンズに収差を持ち込む場合、これらは第2補正素子によって少なくとも部分的に補正されることができる。

【 0 0 3 6 】

上記手法は、浸漬媒質の変化のために透過分布が変わった投影露光装置でのメンテナンス作業にも適する。この場合、好ましくは上のパラメータ、特に透過指数 が新たに決定される。この新たな決定は、特にシミュレーション又は測定によって行われる。

【 0 0 3 7 】

上記及びさらなる特徴は、特許請求の範囲だけでなく、明細書及び図面からも明らかになる。この場合、個々の特徴は、発明の実施形態において、又は他の分野において、それぞれの場合に単独で、又は複数を組み合わせた形で、実現され、また好都合であるとともに本質的に保護が可能である実施形態を表すであろう。

【実施例】

【 0 0 3 8 】

本発明によって解決することができる問題を説明するために、図 1 は、偏光ビームスプリッタ付きの反射屈折投影対物レンズ 1 0 0 の構造を概略的に示す。それは、物体面 1 0 1 上に配置されたレチクルなどのパターンを像面 1 0 2 上に縮小して、たとえば 4 : 1 の縮率で結像するように働き、まさに 1 つの実中間像（図示せず）が生成される。 $\lambda = 157\text{ nm}$ の動作波長用に構成されている投影対物レンズは、物体面及び像面間に、第 1 反射屈折対物レンズ部 1 0 3 と、その後方の第 2 純粋屈折対物レンズ部 1 0 4 とを有する。反射屈折対物レンズ部は、光軸に対して斜めの向きにある平面偏光ビームスプリッタ面 1 0 7 を有する物理的ビームスプリッタ 1 0 5 とともに、結像凹面鏡 1 0 8 を有する鏡群とを備える。縮小効果を有する対物レンズ部 1 0 4 は、光軸に対して傾斜した平面偏向鏡 1 1 0 を有し、この偏向鏡は、ビームスプリッタ表面 1 0 7 での反射と組み合わせられて、物体面上に配置されたマスクを、像面 1 0 2 上に配置された感光基板、たとえばフォトレジスト層で被覆された半導体ウェハに平行な向きにすることができる。これにより、マスク及びウェハのスキャナ動作が容易になる。偏向鏡を備えない実施形態、又は複数の偏向鏡を備える変更形も可能である。

【 0 0 3 9 】

偏光（それぞれの対物レンズ領域内で直線偏光又は円偏光された）紫外線での動作は、このタイプの投影対物レンズの特徴であり、偏光状態は、ビームスプリッタ層 1 0 7 の特性に合わせられる。偏光選択ビームスプリッタ層は、実質的に 1 つの偏光方向だけを透過し、それ以外を遮断する。この場合、偏光成分（光学構成部品上のそれぞれの入射面に垂直及び平行な電界ベクトルの成分）の役割は、ビームスプリッタ層が透過で、又は反射で使用されるかに応じて、相互交換される。

【 0 0 4 0 】

例示的な光学系は、照明系から生じる光が、物体面 1 0 1 上に配置されたマスク、及びそれに続く正レンズ 1 2 0 を通過した後、遅くとも偏光ビームスプリッタ 1 0 5 に入る前に、ビームスプリッタ層 1 0 7 に対して s 偏光されるように構成されている。s 偏光された光は、ビームスプリッタ層 1 0 7 によって凹面鏡 1 0 8 の方へ偏向され、それに向かう光路上で、四分の一波長板 1 2 1 を通過し、この四分の一波長板は、直線偏光を円偏光に変換し、その円偏光は、さらなるレンズ 1 2 2、1 2 3 を通過した後に凹面鏡 1 0 8 に当たる。光は、この凹面鏡から反射して、まだ円偏光として、逆方向にレンズ 1 2 3、1 2 2 を通過した後、四分の一波長板 1 2 1 を通過して、それによって直線偏光に変換され、この光はこの時、ビームスプリッタ層 1 0 7 に対して p 偏光されている。p 偏光された光は、ビームスプリッタ層 1 0 7 を透過して、偏向鏡 1 1 0 に当たり、この偏向鏡 1 1 0 はそれを像面 1 0 2 の方向へ偏向させる。それに向かう光路上で、光は複数のレンズ 1 2 5、1 2 7 を通過し、その間に投影対物レンズの像側ひとみ面 1 2 6 が位置している。

【 0 0 4 1 】

対物レンズの透過を向上させるため、レンズ及び偏光ビームスプリッタのすべての入射面及び射出面が、多層誘電反射防止干渉層システム（AR 層）で被覆されている。鏡 1 0 8、1 1 0 の鏡面は、高反射誘電反射干渉層システム（HR 層）で被覆されている。

【 0 0 4 2 】

理想的には、上記の偏光識別が完全であり、個別の光学構成部品に当たる、又はそれらを通ずる光は、それぞれ理想的に望ましい好適な偏光方向を有する。しかし、使用された入射角を介したプロファイルを有する干渉層システムの偏光依存効果の結果として、透明光学構成部品の応力誘発及び／又は固有複屈折の結果として、且つ／又は幾何学効果の結果として、それぞれ望ましくない偏光成分の光強度も発生するであろう。したがって、望ましくない偏光成分の、視野及び方向に依存して異なった大きさを有する部分が発生し、それらの部分は、ビームスプリッタ層 107 で減衰されることができる。このため、たとえば、像面 101 から来る光の p 成分が透過し、且つ／又は凹面鏡から来る光の s 成分が反射されるであろう。その場合、これらの「拒否された」強度部分は、望ましい偏光成分の強度内に存在しない。その結果、物体面 101 上のレチクルの照明が依然として均一であったとしても、ビームスプリッタ層の後方において、視野点、及び光学系の射出ひとみ 126 上の像座標によっては、強度差が観察されるであろう。基準状態として結像マスク構造体の回折パターンが位置するひとみ 126 全体での望ましい局部強度分布を考慮することが好都合である。

【0043】

ずらした位置の部分図は、ビームスプリッタ層 107 の具体的な層構造の影響を受けた軸点の射出ひとみ 126 での空間強度分布を概略的に示す。この場合、照度は、線密度が低い領域より線が互いに近寄っている領域で高い。このため、位置依存暗色化が射出ひとみに確立され、これは、結像中の限界寸法の望ましくない変化に備えることができる。

【0044】

本発明によれば、投影対物レンズ内の適当な位置に存在する少なくとも 1 つの干渉層システム（AR 層又は HR 層）の反射又は反射減少効果の影響を狙ったように低下させ、それにより、機能層の光学効率の比較的大きい空間変調によって光学系の空間強度変動の部分的又は完全な補償を達成することにより、その問題を軽減又は回避することができる。

【0045】

図 2 及び図 3 を参照しながら、まず最初に、いかにして鏡層の反射効果の目標局部「低下」によって強度分布をより均一にすることができるかを説明する。凹面鏡 108 上に取り付けられた高反射多層干渉層システム 200 は、この目的の例示のために考えられている。中間像を有する例示の光学系では、射出ひとみ 126 に対して光学的に共役のひとみ面が、凹面鏡 108 上又はその近傍に配置されるような構成にすることができるので、この HR 層が、所望のアポディゼーションに特にうまく適する。したがって、射出ひとみの強度分布は、鏡層 200 の反射率の空間変調により、狙い通りの影響を受けることができる。凹面鏡 108 では、放射光の比較的小さい入射角が生じるだけであり、これにより、良好な反射効果を伴いながら比較的簡単な層構造にすることができるので、アポディゼーションのためにこの鏡層を選択することも好都合である。

【0046】

上記鏡層用にいわゆる $\lambda/4$ 構造を使用することができ、この構造は、高屈折率を有する誘電層及び低屈折率を有する誘電層を交互に使用し、その場合、層厚さ d は、 $n_H \cdot d_H = n_L \cdot d_L = (\lambda/4 \pm 10\%)$ の条件を満たさなければならない。この場合、指数 H 、 L は、高屈折率を有する誘電材料及び低屈折率を有する誘電材料を表し、 n はその材料の屈折率であり、 d は幾何学的層厚さである。 λ は、光学系の動作波長、たとえば 157 nm である。誘電 HR 層システム用の層順序は、直接的に基板上に塗布された高屈折率の層で始まることができ、次にその層の上に、低屈折率を有する層及び高屈折率を有する層の N 対（表記： $S | H | (LH)^N$ ）が配置される。達成できる最大反射率は通常、層対の数 N に伴って上昇する。

【0047】

考慮される層材料の例は、高屈折率を有する層ではフッ化ランタン（ LaF_3 ）、低屈折率を有する層ではフッ化マグネシウム（ MgF_2 ）である。代替として、フッ化ガドリウム（ GdF_3 ）、フッ化ジルコニウム（ ZrF_4 ）、フッ化ハフニウム（ HfF_4 ）、フッ化ホルミウム（ HoF_3 ）、フッ化エルビウム（ ErF_3 ）、フッ化イッテルビウム

(YbF_3)又はフッ化イットリウム(YF_3)も、高屈折率を有する材料として適当である。低屈折率を有する代替材料は主に、チオライト、クリヨライト、フッ化アルミニウム(AlF_3)、フッ化ナトリウム(NaF)、フッ化リチウム(LiF)又はフッ化バリウム(BaF_2)である。

【0048】

低反射率を有することを意図した領域内で、個別層すべての層厚さを数%だけ狙い通りに減少させることにより、想定位置で反射効率の目標低下を達成することが可能である。説明のため、図2は、31枚の / 4層を有する層スタックの反射率Rのスペクトルプロファイル(実線)とともに、個別層すべての層厚さを、公称層厚さ / 4と比べて約7%だけ減少させた構造のプロファイル(破線)とを示す。この全体的層厚さ減少が、スペクトルプロファイルのより短い波長への「デチューニング」をもたらすことは明らかであり、本例では、反射最大値(約95%の絶対値)が、動作波長157nmから約149nmのより低い波長へ移動する。したがって、理論的には動作波長157nmでの屈折率は、層厚さプロファイルの / 4 ~ / 4・0.93の目標変化により、約95%(157nmでの / 4構造の最大値) ~ 10%未満(157nmでの / 4・0.93の反射率)で変化することができる。このより低い反射率は、高い波長側の一次最大値に隣接する第1最小値での / 4構造の値に対応する。したがって、層厚さの「デチューニング」により、反射率の局所変動における非常に大きい変動が可能になる。

【0049】

被膜作製において確立されたダイアフラム方法により、層厚さを上述したようにして、たとえば被覆光学構成部品を中心から縁部まで減少させることが理論的には可能であるが、ほとんどの標準被覆方法における製造変動は一般的に、すべての個別層の厚さがおおむね、被膜間で約1%~3%変化するような効果を有する。しかしながら、反射又は反射率は、一次最大値の縁部で非常に急激に低下するので、製造変動を考慮するとき、約10%~約30%程度の大きさで実際に得られる反射率の大きい変化を無視しないことが必要である。その結果、すべての個別層の特定の層厚さプロファイルを生じることにより、鏡の有効範囲全体の干渉層システムの反射率を、強度変動の目標補償を可能にする十分に正確に定められた値に設定することが困難になる。

【0050】

本発明の好適な変更形では、鏡の局所反射率の変動を相当に低くし、したがって、強度変動をより正確に補償することが可能である。図3を参照しながらこれをより詳細に説明する。開始点は、やはりS | H (LH)^NのタイプのHR層システムである。入射光の方向の最後の層(最外層)は通常、高屈折率を有する層である。その層に低屈折率を有する層を追加的に塗布すると、これによって層アセンブリの反射効果が減少する。一般的に得ることができる変動の大きさを、 / 4層を有するHR層スタックの反射率を最上層の層厚さの関数として示す図2を参照しながら説明する。開始層システムは、31枚の / 4層を有し、その場合、高屈折率を有する材料は、 $n_H = 1.79$ を有し、低屈折率を有する材料は、 $n_H = 1.45$ を有する。基板に隣接する層は、高い屈折率を有する。最上層が高屈折率を有する材料の / 4層である場合、 $R = 95.2\%$ の最大反射率が得られる。最上H層の厚さが / 4からゼロまで漸減する場合、反射率が連続的に減少する。これは、図2の31及び30層間の領域に対応する。低屈折率を有する材料製の追加層を第31H層に塗布すると、低屈折率を有する層の層厚さが / 4に達するまで、反射率も同様に連続的に減少する。これが、図2の31及び32層間の領域に示されている。この例示的な光学系では、最上H層の厚さを減少させることにより、又は低屈折率を有する材料製の層を追加的に塗布することにより、反射率を約95.2%~86.6%又は87.9%で変化させることが可能である。したがって、変動の大きさは、約10パーセント点に制限され、これは同時に、絶対項で達成することができる最大反射率の約10%に対応する。しかしながら、この変動の大きさ以内では、製造状態で典型的である層厚さ変動を考慮に入れたとしても何ら問題なく、任意の反射率を狭い変化範囲(一般的に1%~3%)

で設定することができる。

【0051】

回転対称的又は非回転対称的な空間層厚さ分布又は反射率漸変を生じるためのさまざまな可能性を以下にさらに詳細に説明する。

【0052】

反射防止層（AR層）の場合、光学構成部品の反射率及び／又は透過率の大きい空間変調を良好な絶対精度で生じるさまざまな可能性がある。既知のように、ある程度広い層厚さ範囲について、たとえば層厚さのすべてを $\lambda/4 \pm 10\%$ の値に設定することによってのみ、誘電干渉層システムの最適反射防止効果を達成することができる。この場合、さらに、反射率最小値のスペクトル幅は通常、層対の数とともに増加することを考慮に入れなければならない。説明のため、図4は、各々の場合に基本構造を $S|H(HL)^N$ として、多くの層対を有する場合（図4（a））、及び少ない個別層を有する場合（図4（b））の反射防止層システムの反射率Rのスペクトルプロファイルの比較を概略的に示す。この場合、高屈折率及び低屈折率を有する材料製の多くの層対が、低屈折率（一般的 $N > 1$ ）の最下層上に配置されるとき、広い反射最小値（図4（a））が達成される。反対に、3層だけが使用される（ $N = 1$ ）場合、動作波長 λ_0 で狭い反射最小値が生じ、明らかに反射率は、より大きい又はより小さい波長の方へある程度直線的に増加する。そのような特性を有する被膜をここではV字形被膜とも呼ぶ（図4（b））。

【0053】

層システムのすべての個別層が、公称層厚さより相当に厚く、又は薄く作られる場合、V字形被膜では、反射最小値がより短い波長へ移動する一方、動作波長 λ_0 では、層厚さデチューニングに応じて反射率が急激に上昇する。図5は、これに関して、3層の $\lambda/4$ 層システムの場合の反射率のスペクトルプロファイルを実線で示し、すべての個別層の層厚さを約30%～40%薄くした層システムの場合に短波へ移動したスペクトルプロファイルを破線で示す。公称光学層厚さ（たとえば、 $\lambda/4$ ）に対して厚さを（%単位で）変化させた場合の反射防止被膜の反射率の依存性を、例示として図6を参照しながら説明する。この場合、厚さが30%だけ相対変化する結果、残留反射率が0.3%から約4.8%まで増加し、これは、透明基板の残留反射 R_{SUB} の領域にある。ある層システムについて、図6のタイプのグラフが最初に記録される場合、残留反射率の達成可能な最大変化（変調の大きさは約8%）の状況において、V字形被膜の個別層の層厚さの局部変化により、残留反射の任意の所望の空間変調を設定することが可能である。これは、各々の場合に、考えられる光学構成部品の設置状態において比較的高強度が起きる領域内だけで層厚さ変更による反射防止層のデチューニングを設定することを要し、それにより、光学構成部品を通過後に、強度分布をより均一にすることができる。

【0054】

以上に説明した、すべての層の厚さを変化させる代わりとして、反射防止干渉層システムの場合で、1つの個別層、たとえば最外層だけの層厚さを適当に設定することにより、大きい変調のある残留反射率の所望のプロファイルを達成することも可能である。

【0055】

レンズ又は鏡上の2つの可能な層厚さ分布を、例示として図7を参照しながら説明し、相対層厚さを輝度の値で表す。図7（a）は、層厚さが円領域の中心から縁部に向かって連続的に増加する回転対称的な層厚さ分布を示す。図7（b）は、層厚さが、周囲のより明るい領域より暗く見える中央の星形領域で薄い6重の回転対称形の層厚さ分布を示す。

【0056】

図示の層厚さ分布、又は透過率又は反射率の対応の空間分布をもたらす他の空間層厚さ分布を生じる1つの可能性は、均一な層厚さを有する、たとえばそれぞれの場合に $\lambda/4$ 層を有するある層システムの場合、外側層の層厚さが大きく変化するように、イオン照射によって外側層を局部的に除去することにある。その結果、図3に関連して説明した効果を利用しながら、たとえば鏡層上に、変調の大きさが大きい反射率変化を生じることが可能である。

【 0 0 5 7 】

反射防止層の場合、すべての層の厚さを変化させることにより（図 5 及び図 6 を参照）、又は選択された層だけ、特に最外層だけ（図 3 及び関連の説明を参照）厚さを変化させることにより、反射の増加（又は透過の減少）を達成する可能性がある。すべての厚さの変化は、たとえばレンズの被覆において対応の計算をしたダイアフラム配列を使用することによって達成することができ、このダイアフラム配列は、塗布された層厚さをほぼ均一に減少させる。1つの層厚さだけを変化させようとする場合、これは、まず、ダイアフラムなしで、又は特定の層厚さ及び層厚さ分布に対応する1組の第1ダイアフラムを用いて1つ又は複数の個別層を被覆し、次に、層厚さの目標空間変化を達成するために、最後の層の生成前に異なる組のダイアフラムを使用することによって達成される。

【 0 0 5 8 】

遊星システムを備える被覆装置によって一定の層厚さプロファイルを狙い通りに達成する2つの可能性を、例示として図 8 及び図 9 を参照しながら説明する。遊星システムは、主キャリア（遊星キャリア）（図示せず）を有し、これは、主回転軸 80、90 を中心にして回転することができる。本例の場合、4つの基板キャリア（遊星）が、遊星キャリアの周囲に配置されており、各々の場合、それぞれレンズ 81 及び 91 の形の被覆すべき基板を担持している。基板キャリアは、主回転軸に平行に延びるそれぞれの基板キャリア軸を中心にして回転することができ、それにより、主遊星キャリア及び遊星の回転時に、基板は、主回転軸を中心にした全体的回転、及びそれらの基板キャリア軸 82、92 を中心とした固有回転を行う。遊星は、蒸発器源（図示せず）の上方に配置され、基板は、被覆すべき側が材料源に面するようにして、遊星の下側に固定される。遊星の下側に静止している少数のダイアフラム 83、93 が、材料源と遊星との間に取り付けられ、遊星の移動中、蒸発材料から発生する材料流を時々遮り、ダイアフラムの形が遊星の回転時間と協働して、それぞれの遮蔽時間を決定し、この遮蔽時間が付着層厚さを決定する。

【 0 0 5 9 】

図 8 に従った実施形態では、各々の場合においてダイアフラム 83 が楕円形であって、材料源と、遊星の回転軸が被覆面を貫通する点との間の接続線をほぼ中心にして配置され、それにより、主に基板の被覆すべき中央領域がより長い期間にわたって遮蔽されるようになっている。本例では、ダイアフラムの形により、基板軸 82 に関して回転対称である層厚さプロファイルが確実に生じるようになっており、その場合、被膜 84 の層厚さは、基板の中心から縁部まで、たとえばほぼ放物線状に連続的に増加する。まず第1に、反射被膜の製造中、実質的に均一な層厚さが生じるように複数の層を塗布する場合で、且つそれから続いて最外層を上記のように塗布する場合、基板の中心及び縁部での層厚さを適当に選択すれば、鏡を作製することができ、その鏡の反射率は、光軸の領域より縁部で相対的に小さくなる、又は大きくなる（図 3 を参照）。

【 0 0 6 0 】

図 9 に従った実施形態では、主回転軸 90 に対して実質的に半径方向に延びたダイアフラム 93 が使用される。この場合、遊星キャリア及び遊星又は基板の回転をダイアフラムの位置と調和させ、それにより、被覆すべき基板の場合、それらがダイアフラム 93 によって部分的に覆われるときはいつも、特定領域（領域 B）が主回転軸に面し、反対部分（A）が外側に位置する。それに比べて、基板が全材料流内のダイアフラム間に位置する場合、各々の場合に表面領域 B が半径方向外側にある一方、表面領域 A は主回転軸により近い位置にあり、したがって、平均的により高い蒸着率で被覆される。この構造では、被覆処理中、領域 B は、より大きい蒸着率で被覆されることができるときはいつも遮蔽される一方、遮蔽ダイアフラム間の段階では、材料源からの距離がより大きいため、反対領域 A より少ない蒸着材料で被覆されるので、レンズ領域 A には、反対のレンズ領域 B より相当に多い被覆材料が蒸着する。このように、基板 91 の断面全体で、領域 A の大きい層厚さから領域 B の小さい層厚さまで連続した層厚さプロファイルを有する被膜 94 を作製することが可能である。この技法は、たとえば / 4 スタックの外側層の作製時だけ使用されることができる。

【 0 0 6 1 】

この基本原理を使用して、主回転キャリア及び遊星間に位置する歯車機構の伝達比を適切に適合させることにより、被膜の他の対称形、たとえば3重、4重又は6重の放射形対称を設定することも可能である（図7（b）を参照）。

【 0 0 6 2 】

これらの少ない例に基づいて、当業者であれば、既知のアポディゼーション技法を適当に修正し、それにより、実質的に任意の回転対称形又は非回転対称形の層厚さ分布を有する反射被膜又は反射防止被膜を作製することが可能である。

【 0 0 6 3 】

以下には、特に浸漬システムにおいて、コントラストの改善に関連したさらなる実施形態を示す。特に浸漬媒質の場合、特に固体（SIL）又は液体浸漬媒質の場合に光学的有効吸収素子を使用した視野及びひとみ依存型透過分布の補償を例示的に示す。

【 0 0 6 4 】

好適な応用分野において、本発明のこの態様は、浸漬リソグラフィ用の投影露光装置で実行される。図10は、照明系（1112）、物体面（1122）、投影対物レンズ（1120）、像面（1128）、補正素子（L1）、及び外来光線を遮蔽するための散乱光ダイアフラム（L2'）を備える投影露光装置（1110）を概略的に示す。照明系（1112）は、補正素子（1116''、L1）及び放熱装置（1116'）を備える第2投影対物レンズ（1116）を含む。

【 0 0 6 5 】

上記の正味強度コントラスト及びそのひとみ及び視野効果は、投影露光装置に組み込まれた投影対物レンズの像側視野でのひとみ及び視野プロファイルを2回計算する、すなわち、第1計算では浸漬媒質を変化させないで置き、第2計算では浸漬媒質の代わりに、透過挙動以外は浸漬媒質と同じ光学特性を有するが、吸収率 $\alpha = 0$ である偽媒質を用いることによって決定される。これは結果的に、投影対物レンズの幾何学的配置、物体側視野の視野寸法、像側開口及び浸漬媒質の吸収率 α から起きるひとみ及び視野効果の依存性に帰着する。

【 0 0 6 6 】

リソグラフィで特に使用されるDUV及びVUV波長 λ 、特に $\lambda = 248$ 、 193 又は 157 ナノメートルでは、多数の透明浸漬媒質が、ゼロ以外の吸収率 α を有し、特に $\alpha > 0.03 \text{ cm}^{-1}$ の場合がある。

【 0 0 6 7 】

近視野リソグラフィでは、高い屈折率 n 、特に屈折率 $n > 1.6$ 、又は $n > 1.8$ さらには $n > 1.9$ を有する浸漬媒質として、固体が使用される。それらは、たとえばスピネル、サファイアなどからなるレンズ又は終端プレートとして等しく設けられる。

【 0 0 6 8 】

これらの材料の固有吸収率も同様に、石英ガラス又は CaF_2 などの通例の材料より高い。

【 0 0 6 9 】

この場合、近視野は、波長 λ の4倍より短い、さらには波長 λ より短い作動距離を意味すると理解されたい。この場合、作動距離は、投影対物レンズの像面から、投影対物レンズの像面の前の最後の光学素子までの距離である。

【 0 0 7 0 】

吸収法則：

$$T(L) = e^{-\alpha L}$$

によれば、透過強度は、吸収率 α 及び横行した距離 L とともに指数関数的に減少する。その結果、視野位置に応じてひとみ全体に不均一な透過が生じる。

【 0 0 7 1 】

平面的な境界面間で、光路は材料の伝搬角とともに余弦波的に増加し、テレセントリック結像の場合、視野変化が生じない。これらの事実は、図10（a）から推測されること

ができる。

【 0 0 7 2 】

浸漬媒質の上方に位置する光学素子の下側が湾曲している場合、必要とされるものは、屈折力を、特に正の屈折力を有する浸漬レンズ、特に液体レンズである。視野依存性は、まさに図 1 0 (b) で明らかである。

【 0 0 7 3 】

この問題部分を説明するためのさらなる可能性を以下に述べる。

【 0 0 7 4 】

リソグラフィ対物レンズの場合のように、視野の大きさが大きい高開口システムでは、固形材料製又は流体、特に液体製の光学的有効レンズ内に、大きい光路長差が生じる。

【 0 0 7 5 】

図 1 6 の例は、上側開口光線 (U C R - 上側コマ光線 = 上側開口光線) と下側開口光線 (L C R - 下側コマ光線 = 下側開口光線) との最大光路差を示し、両方の開口光線は、最大視野点 y_{max} で主光線 (U R - 単位光線) に対してアークサイン (NA / n (浸漬)) で与えられる角度をなす。

【 0 0 7 6 】

幾何学的配置の指示により、特に最後のレンズ素子に相当な光路長差 d が生じる。この光路長差は、ひとみでの最大正規化強度差：

$$I = (1 - 10^{-K \cdot d}) [\%]$$

をもたらす。

【 0 0 7 7 】

光学素子を構成することができる材料の例及びそれらの吸収係数は以下の通りである。

【 0 0 7 8 】

C a F₂ : $k < 0.0005 / \text{cm}$

S i O₂ : $k = 0.0015 / \text{cm}$

H₂O : $k = 0.038 / \text{cm}$

B a F₂ : $k = 0.03 / \text{cm}$

特に水 H₂O は、C a F₂ の 2 0 倍の吸収性を有する。

【 0 0 7 9 】

したがって、2つの光線の光路長差が、射出ひとみに強度差を発生させる。これは、テレセントリックエラーを、楕円率エラーを、したがって視野依存型ゆがみ、構造体幅変化、及び結像中のコントラストの損失をもたらす。特に、いわゆるダイポール設定での微細構造体の結像中、ひとみでのある回折次数の、逆の回折次数に対する減衰が、これらの像エラーにおいて発現する。この場合、特に強度差は、 $V = 0.5 \cdot I$ での結像中のコントラストの損失に最大の効果を有する。

【 0 0 8 0 】

光路長差が 3 0 mm とすると、石英内に 1 % の強度差が生じる。概ね $d > 60 \text{ nm}$ から、強度差は 2 % を超えるようになり、したがって、結像でのコントラスト損失が 1 % を超えるようになる。しかしながら、この望ましくないコントラスト損失は、高開口光学系において、そこに生じる光路長差のために発生するであろう。

【 0 0 8 1 】

屈折力を有する光学素子に適する水及びさまざまな他の材料の場合、上記したように、吸収が非常に大きくなる。たとえば、水レンズの場合、光路長差は、 $d < 2 \%$ の強度差においてわずかに 3 . 5 mm でなければならない。

【 0 0 8 2 】

図 1 7 の例は、光学系全体において最大開口数 NA が生じる場所である、像面の前の最後の光学的有効素子についてである。もちろん、同様な効果が中間像の近傍でも発生し、そこでは、開口数 NA 及び軸方向遠位の視野点に対する上側及び下側コマ光線の角度が、中間像での開口数によって与えられるが、一般的により小さい。

【 0 0 8 3 】

不均一なひとみ透過はリソグラフィ結像エラーをもたらすので、補正素子、好ましくは投影対物レンズ内及び／又は照明系内の一連のフィルタによってそれらを補償する必要がある。

【 0 0 8 4 】

透過のひとみ及び視野プロファイルを正確に知ることが有利である。それはたとえば、図 1 0 b に概略的に示されているような、浸漬媒質の球形且つ凸状に湾曲した上側の場合について、分析的に明示され、分析計算は好ましくは、多項式による近似を伴う。

【 0 0 8 5 】

根底となる幾何学的配置が図 1 1 a に概略的に示されており、求めるものは、ひとみ座標 $(p, q) = (\cos \varphi \sin \vartheta, \sin \varphi \sin \vartheta)$ 及び視野点座標 r の関数としての、半径 R の球形境界面の下方の任意の視野点 r から球形境界面までの光路長である。

【 0 0 8 6 】

視野点 r から球形境界面上の点 R までの直線は、方向ベクトル s 、

【 数 1 】

$$\vec{s} = \begin{pmatrix} p \\ q \\ \sqrt{1-p^2-q^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi \sin \vartheta \\ \sin \varphi \sin \vartheta \\ \cos \vartheta \end{pmatrix}$$

【 0 0 8 7 】

及び長さ L によって特徴付けられ、式：

【 数 2 】

$$\vec{r} + \vec{s}L = \vec{R}$$

【 0 0 8 8 】

すなわち、

【 数 3 】

$$|\vec{r} + \vec{s}L|^2 = R^2$$

【 0 0 8 9 】

を満たす。 L について、これは二次方程式：

$$(x = |\vec{r}|, R = |\vec{R}|)$$

【 数 4 】

$$L^2 + 2\vec{r} \cdot \vec{s}L + r^2 - R^2 = 0$$

【 0 0 9 0 】

を生じ、その解は

【 数 5 】

$$L = \pm \sqrt{|\vec{r} \cdot \vec{s}|^2 - r^2 + R^2} - \vec{r} \cdot \vec{s}$$

【 0 0 9 1 】

である。 L は正であるとともに、 $R \gg sr$ でなければならないので、ルートの前には正記号を選択する必要がある。

【 0 0 9 2 】

図 1 2 には、一定半径 R の場合の幾つかの視野点について L を概略的に示す。

【 0 0 9 3 】

したがって、全体的な透過は分析的に

【数 6】

$$T = e^{-\alpha \left(\sqrt{|\vec{r} \cdot \vec{s}|^2 - r^2 + R^2} - \vec{r} \cdot \vec{s} \right)}$$

【0094】

を示す。

【0095】

この透過 T に対応する吸収を補償するために、視野及びひとみ全体での透過が、高吸収性の光学的有効素子、特に浸漬液又は固体浸漬レンズ (SIL) の透過分布に関して反対に延在している光学的有効素子を使用する必要がある。

【0096】

特に、視野及びひとみにおける一定のアポディゼーションプロファイルを補償する一連のフィルタが要求される。原則的には、この目的には 2 タイプ及び対応の混合形を使用することができる。

【0097】

空間変化型フィルタ

これらのフィルタは、位置依存効果を有し、これは、少なくとも適正な概算では、入射角に関係ない。したがって、それらはひとみ内のひとみに、また視野内の視野に作用する。中間領域において、それらはある平面の副ひとみに作用する。

【0098】

この場合、平面上の視野点上の副ひとみは、その平面上の、この視野点から現れる光コーンによって物体側幾何学的開口 A_o で照明される領域である。副ひとみの直径及び形は、視野点の位置にほとんど関係なく、したがって、物体側幾何学的開口 A_o 及び考慮する平面だけに依存する。図 11b を参照されたい。物体側幾何学的開口 A_o は、投影対物レンズに固有の結像スケール b によって像側幾何学的開口 A と結びつけられる。一般的に、 $A_o = A \cdot b$ が当てはまり、好ましくは $b = 0.25$ である。

【0099】

投影対物レンズのひとみ及び視野を位置付けるさまざまな場所は、実際には概略的に決定できるだけである。したがって、近ひとみ及び近視野域を参照されたい。

【0100】

投影対物レンズの領域が、近視野又は近ひとみのいずれでもない場合、それは中間領域と呼ばれる。

【0101】

より正確には、以下の呼称系を規定するものとする。

【0102】

u は、物体面の最外視野点であって、好ましくは視野高さが 6 mm を超えるものとする。 O は、投影対物レンズの光軸と物体面との交点を表すものとする。 h_h は、主光線の u からの高さとし、 h_a は、 O から進む開口光線の最大高さであるとし、その両方は、投影対物レンズの光軸に垂直な平面上で測定される。投影対物レンズに関連する光学素子は、その主平面上で測定されたとき、 $h / h_h < 1$ が当てはまれば、近視野（視野面に近いことの同義語）と呼ばれ、 $h / h_h > 1$ が当てはまれば、近ひとみ（ひとみ面に近いことの同義語）と呼ばれるものとする。この場合、 h / h_h は、選択すべきパラメータであって、 $0 < h / h_h < 1$ 、好ましくは $h / h_h = 0.1$ 又は $h / h_h = 0.2$ 又は $h / h_h = 0.4$ である。近視野又は近ひとみのいずれでもない光学素子は、中間領域に関係するものと呼ばれる。

【0103】

角度変化型フィルタ

これらのフィルタは、角度依存効果を有し、これは、少なくとも適正な概算では、位置に関係ない。したがって、それらはひとみ内の視野に、また視野内のひとみに作用する。

【0104】

組み合わせフィルタ

これらのフィルタは、空間変化型フィルタと角度変化型フィルタとの重なり合いから生じる効果を有する。

【 0 1 0 5 】

上記フィルタは、空間及び / 又は角度依存型の透過を有する位置依存型層厚さ（図 1 3 を参照）により、ニュートラルフィルタにより、又は位置依存型層厚さ及びニュートラルフィルタの組み合わせにより実現される。

【 0 1 0 6 】

この場合、ニュートラルフィルタは特に、使用した光の吸収をもたらす異なった層厚さを有するクロム層によって実現されてもよい。この吸収された光は熱をもたらし、それにより、投影露光装置内、特に投影対物レンズ内の収差を招くであろう。

【 0 1 0 7 】

少なくとも部分的に反射する層を使用するときも、同様な問題が起きる。外来光、すなわち同義語として散乱光と呼ばれる反射光を吸収できなければならないであろう。

【 0 1 0 8 】

そのような場合、この補償を行う装置がこれに必要である。これらの装置は好ましくは、抵抗熱を散逸させる、又は好ましくは追加ダイアフラムによって外来光を遮蔽する。

【 0 1 0 9 】

二次概算での実行

ここではたとえば回転対称浸漬媒質について、分析計算を行う。吸収の視野依存性自体が回転対称的であるので、回転対称フィルタ素子だけが必要であるとも言える。したがって、視野点変化は、x 方向にだけに起きる（図 1 3 b を参照）。

【 0 1 1 0 】

補正素子の吸収は、以下のように二次項に書いてまとめられることができる。

【 数 7 】

$$\begin{aligned} A(r) &= a_0 + a_1 r^2 \\ &= a_0 + a_1 \left((vp + (1-v)r_m)^2 + v^2 q^2 \right) \\ &= a_0 + a_1 v^2 (p^2 + q^2) + a_1 (1-v)^2 r_m^2 + 2v(1-v)a_1 p r_m \end{aligned}$$

【 0 1 1 1 】

したがって、効果は、純粹視野効果、純粹ひとみ効果、及び混合項にある。その比率は v の値によって調整される。v = 0 の場合、純粹視野効果があり、v = 1 の場合、純粹ひとみ効果がある。

【 0 1 1 2 】

半径 R が視野点位置に対して大きい場合、光路長 L も同様に二次位数まで伸びることができる。視野付値が追加的に x 方向に制限され（一般性の制限を伴わない）、また以下が結果として生じ、

【 数 8 】

$$\begin{aligned} L &\approx R \left[1 + \frac{|\vec{r} \cdot \vec{s}|^2 - r^2}{2R^2} \right] - \vec{r} \cdot \vec{s} \\ &\approx R + \frac{1}{2R} (2xpzm + z^2 m^2 - x^2 - z^2) - xp - zm \end{aligned}$$

【 0 1 1 3 】

但し

【数 9】

$$z^2 m^2 = z^2 (1 - p^2 - q^2)$$

$$zm \approx z \left(1 - \frac{p^2}{2} - \frac{q^2}{2} \right)$$

【0 1 1 4】

である場合、これは

【数 1 0】

$$L = R + \frac{1}{2R} (2xpz + z^2 - z^2 p^2 - z^2 q^2 - x^2 - z^2) - xp - z + \frac{zp^2}{2} + \frac{zq^2}{2}$$

$$= \underbrace{R - z - \frac{z^2}{2R}}_{\text{constant}} - \underbrace{\frac{x^2}{2R}}_{\text{field pure}} + \underbrace{\left(\frac{z}{R} - 1 \right) xp}_{\text{intermediate region}} + \underbrace{\frac{z}{2} \left(1 - \frac{z}{R} \right) (p^2 + q^2)}_{\text{pupil pure}}$$

【0 1 1 5】

を意味する。

【0 1 1 6】

光路長は一連の被加数に分解されるので、吸収率は、関連する透過の積によって表されることができる。

【数 1 1】

$$L = \sum_j L_j \Rightarrow T = \prod_j e^{a_{L_j}}$$

【0 1 1 7】

吸収率プロファイルは、以下に示すように、1) 中間領域、2) 視野、3) ひとみの二次プロファイルを有する3つのフィルタによって二次概算で補償されることができる。

【0 1 1 8】

中間領域において、

【数 1 2】

$$A_1(r) = a_1 \hat{r}^2$$

【0 1 1 9】

正規化半径が

$$\hat{r}$$

【0 1 2 0】

副ひとみ半径が v では、これは、

【数 1 3】

$$a_1 = \frac{1}{2v(1-v)} \left(1 - \frac{z}{R} \right)$$

【0 1 2 1】

を意味する。

【0 1 2 2】

$v = 0$ 且つ $v = 1$ の場合、このフィルタはプロファイル

$$\left(\frac{z}{R}-1\right)xp$$

【 0 1 2 3 】

を補償するが、これは、

$$a_1(1-v)\hat{r}^2$$

【 0 1 2 4 】

の視野プロファイル及び $a_1 v^2 (p^2 + q^2)$ のひとみプロファイルを発生させることになる。これらは、視野及びひとみフィルタによって補償されなければならない。存在する視野及びひとみプロファイルを補償するためにそれらを使用すれば、好都合である。

【 0 1 2 5 】

その時、視野領域では、

【 数 1 4 】

$$A_2(r) = a_2 \hat{r}^2$$

【 0 1 2 6 】

但し、

【 数 1 5 】

$$a_2 = \frac{1}{2R} - a_1(1-v)^2$$

【 0 1 2 7 】

とすることができる。

【 0 1 2 8 】

また、最後になるがひとみ領域では、

【 数 1 6 】

$$A_3(r) = a_3 \hat{r}^2$$

【 0 1 2 9 】

但し、

【 数 1 7 】

$$a_2 = -\frac{z}{2} \left(1 - \frac{z}{R}\right) - a_1 v^2$$

【 0 1 3 0 】

であり、

【 数 1 8 】

$$a_2 = -\frac{z}{2} \left(1 - \frac{z}{R}\right) - \frac{v}{2} \left(1 - \frac{z}{R}\right) = -\frac{1}{2} (z+v) \left(1 - \frac{z}{R}\right)$$

【 0 1 3 1 】

と言える。

【 0 1 3 2 】

負吸収は、純粋に正に、したがって、一定の構成部品によって物理的に可能な吸収に変換されなければならない。

【 0 1 3 3 】

投影露光装置のメンテナンス

吸収物質及びそれから作製された光学素子の透過挙動でも、投影露光装置の使用に伴っ

て変化する。この変化は、シミュレーション又は測定により、好ましくはパラメータ によって説明されることができ、特に $n = n_0$ 又は $n = K$ が当てはまるであろう。したがって、パラメータ n は、浸漬媒質の、新しくシミュレートされた、又は測定された透過指数、又は浸漬媒質の新しく測定された吸収係数 K である。

【0134】

その場合、補正素子を適応させる必要があり、好ましくは、それを画定するフィルタを、それらの位置又は実施形態について変更し、特にフィルタ素子を交換する。

【0135】

この処理は、二次特性の収差を投影露光装置に、特に投影対物レンズに持ち込む可能性があり、これを少なくとも部分的に補正しなければならない。この補正は、光学素子の位置の操作、光学素子の形の操作（米国特許第 5,805,273 A 1 号を参照）、又は光学素子の表面処理（米国特許第 6,268,903 B 1 号を参照）によって行われることができる。

【0136】

結論

透過挙動に関する同様な問題部分は、使用される他の光学的有効素子の透過挙動と大きく異なる、すなわち大量に吸収する、具体的には一桁分又は複数桁分までも大量に吸収する透過挙動を示す光学的有効素子を含むいずれの投影露光装置にも発生する。浸漬媒質の伝統的な概念を以上に使用したのは、より理解しやすくするためだけである。本発明の保護範囲をいずれの意味でも制限するつもりはない。

【0137】

本発明は、図 14 に例示的に示されているように、マイクロリソグラフィ投影対物レンズに組み込まれることができる。そのような 2 鏡直線配列形の反射屈折投影対物レンズの一部の基本構成原理が、たとえば 2004 年 1 月 14 日に本出願人により出願された米国特許仮出願第 60/536278 号に開示されている。本発明はまた、図 15 に例示的に示されているような、中間像面を照明系の最終像面に結像するように構成された結像光学系にも組み込まれることができる。図面の番号は選択された光学表面を表す。

【図面の簡単な説明】

【0138】

【図 1】図 1 は、偏光ビームスプリッタを備える反射屈折投影対物レンズの概略図である。

【図 2】図 2 は、 $n/4$ 層を備える誘電鏡層システムの反射率のスペクトルプロファイルを、すべての個別層の層厚さを数パーセントずつ減らした鏡層システムと比較した概略的比較グラフである。

【図 3】図 3 は、高反射鏡の反射率を最外層の厚さの関数として示す概略グラフである。

【図 4】図 4 は、個別層の数の関数としての反射防止層システムの反射率のスペクトルプロファイルを比較して示し、(a) は多くの個別層を有する干渉層システムの場合の広い反射最小値を示し、(b) はわずかな個別層を有する層システムの場合の V 字形の狭い反射最小値を示している。

【図 5】図 5 は、 $n/4$ 個別層を有する場合（実線）、及び層厚さを各々の場合で数パーセントずつ減らした個別層を有する場合（破線）の V 字形被膜の反射率のスペクトルプロファイルの概略図。

【図 6】図 6 は、反射防止干渉層システムの反射を、公称層厚さに対する層厚さ変化の関数として示す概略グラフである。

【図 7】図 7 は、レンズ上又は鏡上の干渉層システムの異なった局部層厚さ分布を概略的に示す。

【図 8】図 8 は、構成部品を中心から縁部まで連続的に増加する層厚さの回転対称的層厚さ分布を生じるためのダイアフラム方法を概略的に示す。

【図 9】図 9 は、層厚さが光軸に対して直角方向に連続的に変化する干渉層システムを備えた光学素子を作製するためのダイアフラム方法を概略的に示す。

【図 10】図 10 は、本発明による投影露光装置の一実施形態を示す。

【図 10 a】図 10 a は、2 つの平坦表面と境界を接する浸漬媒質内の像視野の視野点に属する照明光ビームの個別光線の光路長を示す。

【図 10 b】図 10 b は、下側平坦面及び上側球形凹面と境界を接するような媒質の場合の照明光の個別光線の光路長を示す。

【図 11 a】図 11 a は、副ひとみ内に使用された座標系を示す。

【図 11 b】図 11 b は、副ひとみ内に使用された座標系を示す。

【図 12】図 12 は、一定の半径 R の場合の幾つかの視野点についての光路長 L のひとみプロファイルを示す。

【図 13 a】図 13 a は、変動層厚さによって作用するフィルタを示す。

【図 13 b】図 13 b は、視野及びひとみのパラメータ表示を示す。

【図 14】図 14 は、浸漬媒質を有する投影対物レンズを示す。

【図 15】図 15 は、照明系と組み合わされた第 2 投影対物レンズを示す。

【図 16】図 16 は、光学素子内、特に浸漬媒質内での、上側及び下側開口光線間の光路長差 d を示す。

【図 17】図 17 は、光学素子を構成することができる異なる材料についての、光学素子、特に浸漬媒質における光路長差 d に対する正規化強度差 I を % 単位でプロットしたグラフである。