

【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 6 部門第 2 区分

【発行日】平成23年9月15日 (2011.9.15)

【公開番号】特開2011-39526(P2011-39526A)

【公開日】平成23年2月24日 (2011.2.24)

【年通号数】公開・登録公報2011-008

【出願番号】特願2010-194864(P2010-194864)

【国際特許分類】

G 0 2 B 17/08 (2006.01)

G 0 2 B 1/11 (2006.01)

H 0 1 L 21/027 (2006.01)

【F I】

G 0 2 B 17/08 A

G 0 2 B 1/10 A

H 0 1 L 21/30 5 1 5 D

【手続補正書】

【提出日】平成23年8月3日 (2011.8.3)

【手続補正 1】

【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】反射屈折投影対物系

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、物体平面内の物体視野を像平面内の像視野上に結像するために 3 つの部分対物系を含む反射屈折投影対物系、そのような投影対物系を含むマイクロリソグラフィのための投影露光装置、及び同じくそのような投影露光装置を用いて半導体構成要素及び他の微細に構造化された構成要素を製造する方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

物体視野は、反射屈折投影対物系の第 1 の部分対物系を用いて第 1 の実中間像上に結像され、第 1 の中間像は、第 2 の部分対物系を用いて第 2 の実中間像上に結像され、第 2 の中間像は、第 3 の部分対物系を用いて像平面内の像視野上に最終的に結像される。この場合、第 2 の部分対物系は、厳密に 1 つの凹ミラーを有する反射屈折対物系である。更に、反射屈折投影対物系は、2 つの折り返しミラーを有し、第 1 の折り返しミラーは、物体平面から到着する投影光を第 2 の部分対物系の凹ミラーの方向に偏向し、第 2 の折り返しミラーは、第 2 の部分対物系の凹ミラーから到着する投影光を像平面の方向に偏向する。

【0 0 0 3】

この種の反射屈折投影対物系は、例えば、US 2 0 0 9 / 0 0 3 4 0 6 1 及び US 2 0 0 9 / 0 0 9 2 9 2 5 から公知である。

【0 0 0 4】

反射屈折投影対物系のレンズのレンズ面では、空気又は気体充填物とレンズ材料との間の屈折率の差に起因して、特定の割合の光が反射される。この反射は、反射防止コーティングによって低減することができるが、完全には防止することができない。レンズ面において反射される投影光が像平面内へと通ることができる場合には、このいわゆる迷光は、実際の像のコントラストを低下させるバックグラウンド照明を引き起こす。

## 【 0 0 0 5 】

レンズ面上に反射防止コーティングを有する反射屈折投影対物系は、U S 2 0 0 8 / 0 2 9 7 8 8 4 A 1 から公知である。

## 【 0 0 0 6 】

反射防止コーティングは、U S 5 , 9 6 3 , 3 6 5 A から公知である。

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 7 】

【 特許文献 1 】 U S 2 0 0 9 / 0 0 3 4 0 6 1

【 特許文献 2 】 U S 2 0 0 9 / 0 0 9 2 9 2 5

【 特許文献 3 】 U S 2 0 0 9 / 0 0 9 2 9 2 5 A 1

【 特許文献 4 】 U S 2 0 0 9 / 0 0 8 6 1 7 9 A 1

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 8 】

従って、本発明の目的は、そのような投影対物系内の迷光を低減することである。

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 0 9 】

これには、この部類の投影対物系内のどの光路上を光が像平面内へと通ることができるかという問いを調査する段階が関わっている。光路とは、光が、物体平面から像平面への途中に通過する一連の光学面を意味するように理解される。この場合、投影光が反射屈折投影対物系の光学設計に従ってレンズ又はミラーの光学面を通過する際に辿ることを意図した投影光路と、迷光が像平面内へと通る際に辿る1つ又はそれよりも多くの迷光路との間で区別がつけられる。迷光路の場合には、迷光は、少なくとも1つのレンズ面で透過される代わりに反射され、従って、投影光路を離れる。迷光路を判断するために、各レンズ面は、透過面と反射面の両方であると見なされ、この場合、レンズ面の反射率は、光ビームが透過されるか又は反射される際の確率を左右する。別の観点からは、光ビームは、透過光ビームと反射光ビームに分割することができ、反射率は、2つのビームの強度を決める。投影対物系内のレンズ面において迷光がどれ程の頻度で反射されるかによっては、単反射、二重反射、又は更には高次の反射の間で区別がつけられる。反射の強度は、反射率の積に依存するので、一度の反射しか持たない単反射は、比較的高い迷光強度を引き起こす。従って、各単反射は、それを許容できるか否か、又は単反射に起因する迷光強度を低減するための対応する対策が必要であるか否かに関して調査する必要がある。

## 【 0 0 1 0 】

第2の部分対物系は、厳密に1つの凹ミラーを有し、投影光は、第1の折り返しミラーによってこの凹ミラーに向けて偏向され、凹ミラーにおける反射の後に、第2の折り返しミラーによって像平面に向けて偏向されることにより、折り返しミラーと凹ミラーの間の第2の部分対物系のレンズは、2度の通過を受ける。従って、投影光は、2度の通過を受けるそのようなレンズを1度目は凹ミラーへの途中で、2度目には凹ミラーにおける反射の後に通過する。2度の通過を受けるそのようなレンズのレンズ面は、投影光が、これらのレンズ面のうちの1つにおいて透過される代わりに反射されることによって単反射を引き起こす可能性がある。この場合、迷光路は、投影光が凹ミラーに向う途中及び再度その戻る途中に実際に通過することになる光学面が飛ばされることによって生じる可能性がある。ある一定の状況では、迷光路は、像平面にまで達する可能性がある。迷光は、次に、投影光も反射レンズ面から始まって凹ミラーにおける反射の後に通過すると考えられる全ての光学面を通過する。従って、2度の通過を受ける第2の部分対物系のレンズは、像平面内で単反射に起因する迷光を発生させる傾向が特に強い。

## 【 0 0 1 1 】

従って、本発明の一実施形態では、第2の部分対物系のレンズの少なくとも1つの面が、150nmと250nmの間の作動波長、及び0°と30°の間の入射角度範囲に対し

て0.2%よりも低い反射率を有する反射防止コーティングで覆われる。反射防止コーティングは、光がレンズに入射する時の屈折率の急激な変化に起因する反射損失が低下するように設計されたコーティングを意味するように理解される。この場合、ここで設けられる反射防止コーティングは、第1に作動波長によって指定され、第2に入射角度範囲によって指定される。作動波長は、投影対物系がその後作動される投影光の波長を意味するように理解される。一般的に、この作動波長は、150nmと250nmの間のDUV又はVUV波長範囲の波長、すなわち、例えば、248nm、193nm、又は157nmの波長である。入射角は、光線がレンズ面上に入射する点における表面法線に対する光線の角度を意味するように理解される。一般的に、多くの光線が、異なる入射角でレンズ面のある一定の点上に入射し、従って、反射防止コーティングは、1つの入射角だけに対してではなく、入射角度範囲全体に対して最適化する必要がある。この場合、レンズ面における反射を完全に防止する反射防止コーティングを製造することはできず、この反射を低減することしかできない。この場合、反射防止コーティングの複雑度は、所定の入射角度範囲における残留反射の低減度と共に増大する。一般的に、2度通過を受けるレンズを持たない投影対物系では二重反射及び多重反射が優勢であるから、二重反射又は多重反射の得られる迷光効果を低減するための反射防止コーティングを設計することで十分である。上述の入射角度範囲で、例えば、0.2%よりも高い反射防止コーティングの反射率は、二重反射及び多重反射を満足できるように低減するのに十分である。反射率の更なる低下は、反射防止コーティングを不要に複雑にすることになる。それとは対照的に、像視野内で終端を成す単反射迷光路が既に発生している場合には、上述の入射角度範囲で0.2%よりも高い反射防止コーティングの反射率は、許容することができない迷光をもたらす可能性がある。しかし、正確には、2度の通過を受ける第2の部分対物系のレンズの場合に、この危険性が出現する。従って、これらのレンズ面は、これらのレンズに対して妥当な0°から30°の入射角度範囲に対して0.2%よりも低い反射率を有する反射防止コーティングで覆われる。

【0012】

本発明の更に別の実施形態では、反射防止コーティングは、150nmと250nmの間の波長、及び0°と30°の入射角に対して0.1%よりも低い反射率を有する。

【0013】

0°から20°の範囲の小さい入射角を有する光線、すなわち、光軸に近い光線では、レンズ面における反射の後に依然として像平面へと通過し、バックグラウンド照明に寄与する確率が特に高いので、本発明の更に別の実施形態では、2度の通過を受ける第2の部分対物系のレンズのレンズ面は、0°から20°の入射角度範囲、及び150nmと250nmの間の波長に対して0.1%よりも低い反射率を有する反射防止コーティングで覆われる。

【0014】

本発明の更に別の実施形態では、反射防止コーティングは、150nmと250nmの間の波長、及び0°と20°の入射角度範囲に対して0.05%よりも低い反射率を有する。

【0015】

本発明の更に別の実施形態では、反射防止コーティングは、150nmと250nmの間の波長、及び0°と10°の入射角度範囲に対して0.02%よりも低い反射率を有する。

【0016】

本発明の更に別の実施形態では、反射防止コーティングは、150nmと250nmの間の波長において、0°と30°の入射角度範囲に対しては0.2%よりも低い反射率を有し、同時に0°と20°の入射角度範囲に対しては0.1%よりも低い反射率を有する。

【0017】

本発明の更に別の実施形態では、反射防止コーティングは、150nmと250nmの

間の波長において、 $0^{\circ}$ と $30^{\circ}$ の間の入射角度範囲に対しては $0.2\%$ よりも低い反射率を有し、 $0^{\circ}$ と $20^{\circ}$ の間の入射角度範囲に対しては $0.1\%$ よりも低い反射率を有し、同時に $0^{\circ}$ と $10^{\circ}$ の間の入射角度範囲に対しては $0.02\%$ よりも低い反射率を有する。

【0018】

本発明の更に別の実施形態では、反射防止コーティングは、 $150\text{nm}$ と $250\text{nm}$ の間の波長において、 $0^{\circ}$ と $30^{\circ}$ の間の入射角度範囲に対しては $0.1\%$ よりも低い反射率を有し、同時に $0^{\circ}$ と $10^{\circ}$ の間の入射角度範囲に対しては $0.02\%$ よりも低い反射率を有する。

【0019】

反射防止コーティングの複雑さは、特に、反射防止コーティングを構成するのに用いられる層の数に現れる。本発明の一実施形態では、反射防止コーティングは、高屈折率を有する材料と低屈折率を有する材料とで交互に構成された6つの層を含む。この場合、材料が、作動波長に対して低屈折率を有する材料の屈折率よりも高い屈折率を有する時に、この材料は、高屈折率を有するとして表している。

【0020】

本発明の更に別の実施形態は、高屈折率を有する材料と低屈折率を有する材料とで交互に構成された7つの層を含む。

【0021】

高屈折率を有する材料と低屈折率を有する材料とで交互に構成された少なくとも6つの層の使用により、 $0^{\circ}$ から $30^{\circ}$ の入射角度範囲にわたって $0.2\%$ よりも低い反射率を保証することができる。

【0022】

本発明の一実施形態では、低屈折率を有する使用材料は、フッ化マグネシウム、フッ化アルミニウム、フッ化ナトリウム、フッ化リチウム、フッ化カルシウム、フッ化バリウム、フッ化ストロンチウム、クリオライト、チオライト、及びこれらの組合せから成る群から選択された誘電体である。

【0023】

本発明の一実施形態では、高屈折率を有する使用材料は、フッ化ネオジウム、フッ化ランタン、フッ化ガドリニウム、フッ化ジスプロシウム、酸化アルミニウム、フッ化鉛、フッ化イットリウム、及びこれらの組合せから成る群から選択された誘電体である。

【0024】

第2の部分対物系の面における反射に起因する単反射の発生に対しては、特に、 $20^{\circ}$ よりも小さい周縁光線同心(marginal ray concentricity)からのずれを有する面を考慮すべきである。周縁光線同心は、周縁光線が、レンズ面上でそれ自体に重なるように反射して戻される状態を意味するように理解される。すなわち、周縁光線は、このレンズ面において $0^{\circ}$ の入射角を有する。この場合、用いられる周縁光線は、物体平面内で光軸から出射し、投影対物系の開口絞りを際どく通過し、すなわち、像平面内で最大開口数に対応する入射角を有する仮想光線である。この光線は、この種類の投影対物系が軸外物体視野を有し、すなわち、投影対物系の光軸が物体平面と物体視野内で交差しないので、仮想周縁光線である。光線追跡法では、ミラー又はレンズの物理的境界、又は他の光学要素による口径食は重要ではなく、周縁光線は投影光路に沿って追跡されるので、この仮想周縁光線は、仮想光線であるにも関わらず、数学的に追跡することができる。この場合、レンズ面の周縁光線同心と単反射の発生の間関係はどのようなものであるかを考える。理想的な結像の場合には、物体平面から出射する周縁光線は、以降の像平面内、すなわち、この種類の投影対物系の場合には第1の中間像平面内、第2の中間像平面内、及び像平面内で光軸と交差する。次に、第2の部分対物系内のレンズ面において周縁光線同心が存在する場合には、周縁光線は、それ自体に重なるように反射して戻され、従って、周縁光線が出射した位置と同じ位置で光軸と再度交差する。すなわち、第1の中間像平面と一致するいわゆる迷光中間像平面が発生する。第1の中間像は軸外中間像であるから、第1の中間像と迷

光中間像とは、光軸の反対側に位置する。従って、迷光中間像は、凹ミラーから像平面への投影光路内に位置し、それによって迷光は、投影光路を辿るように像平面内へと通ることができる。更に、第2の投影対物系が1:1の対物系の場合には、第1の中間像平面と第2の中間像平面とは一致し、従って、同じく迷光中間像平面も一致する。その結果、迷光中間像は、第2の中間像の位置に発生し、最終的に第3の部分対物系によって第2の中間像と同様に像平面上に結像される。単反射に起因して、像平面に直接に入る連続迷光路が発生する。従って、周縁光線同心が存在するか又は周縁光線同心からのずれが $20^\circ$ よりも小さいレンズ面は、単反射の発生に対して特に重要であり、従って、改善された反射防止コーティングを設けなければならない。

#### 【0025】

単反射を受け易い面の改善された反射防止コーティングに加えて、投影対物系の光学設計を案出する際に単反射の低減を事前に考慮することができる。従って、本発明の一実施形態では、第2の部分対物系のレンズの全ての面は、これらの面の周縁光線同心からのずれが $20^\circ$ よりも大きく又はそれに等しいように構成される。その結果、迷光中間像は、第2の中間像の位置で発生せず、従って、第2の中間像とは異なり、第3の部分対物系によって像平面に結像されない。迷光と投影光とは、特に、第2の折り返しミラーの領域内では異なるビーム範囲を有する。第2の折り返しミラーの範囲は、投影光ビームの範囲に適用されるので、迷光ビームは、第2の折り返しミラーの物理的境界によって口径食を受け、その結果、像平面に到達しないか、又は大幅に低減された強度しか伴わずに像平面に到達する。

#### 【0026】

像視野湾曲の補正及び色収差補正の目的で、第2の部分対物系は、複数のレンズを有することができる。2度の通過を受けるこれらのレンズは、単反射を引き起こす面を有する可能性がある。本発明の一実施形態では、第2の部分対物系は、厳密に1つのレンズを有する。それによって単反射が発生する可能性がある面数が2面にまで減少する。

#### 【0027】

しかし、投影対物系の結像品質が、第2の部分対物系内のレンズ数の減少に起因して劣化しないように、本発明の一実施形態では、このレンズは、両非球面レンズとして実施される。言い換えれば、このレンズは、前面と後面の両方の上に形成された非球面を有する。それによって必要な結像品質を保証するための更なる自由度が得られる。

#### 【0028】

第2の部分対物系のレンズのレンズ面の単反射を回避することに向けたターゲット構成により、改善された反射防止コーティングによる単反射に対して重要なレンズ面の被覆により、又はこれらの2つの対策の組合せの適用によって達成することができるものは、迷光に起因する像平面内のバックグラウンド照明を全体的に大きく低減することである。第2の部分対物系のレンズ面の迷光に対する影響、及び提案する対策による迷光の低減を定量化するために、迷光は、例えば、均一に照明される物体視野に配置され、像平面に結像される非発光物体によって測定される。この場合、物体は、例えば、四角形であり、異なる辺の長さを有することができる。物体は、例えば、投影光を吸収する小箱である。迷光が存在しない場合には、物体は像平面に鮮明に結像されることになり、物体の像内の強度は、最大周囲照明値の0%である。しかし、迷光が存在する場合には、物体の像は真っ暗ではない。迷光強度分布は、物体の範囲を考慮して物体像の中心における強度から判断することができる。

#### 【0029】

物体像の中心における迷光強度は、物体の照明及び迷光の発生源に依存して変化する。物体の照明は、特に、瞳フィルファクタによって特徴付けることができる。瞳フィルファクタ = 0.2の場合には、投影対物系の入射瞳は、最大瞳半径の20%の半径までしか照明されない。その結果、物体は、光軸に対して比較的小さい角度を有する光線によってのみ照明される。それとは対照的に、瞳フィルファクタ = 1.0の場合には、投影対物系の入射瞳は完全に照明され、それによって物体は、物体平面内で可能な最大値を提供

する光線によって照明される。光軸に対して大きい角度を有する光線では、レンズ面における反射の後に像平面へと直接に通過せずに、例えば、レンズマウントにおいて口径食を受ける高い確率が存在するので、物体が、小さい瞳フィルファクタを用いて照明される場合には、単反射に起因する迷光の寄与は、大きい瞳フィルファクタを用いた照明の場合よりも大きい。従って、迷光測定は、例えば、瞳フィルファクタ  $= 0.2$  に対して実施される。投影露光装置の照明系がこのフィルファクタを提供しない場合には、迷光測定において  $= 0.2$  と  $= 0.3$  の間の瞳フィルファクタが用いられる。

#### 【0030】

第2の部分対物系のレンズ面によって引き起こされる単反射に加えて、像平面における像視野内の迷光には、更に別の原因も存在する。レンズ面における二重反射に起因する二重反射は、単反射と比較すると無視することができる強度しか持たない。面散乱又は体積散乱に起因する迷光は、十分に大きく、例えば、 $1.0\text{ mm}$ の物体の辺の長さを選択することによって単反射に起因する迷光から区別することができる。この場合、物体像の中心における面散乱又は体積散乱に起因する迷光の強度は、単反射に起因する迷光の強度と比較して少なくとも70%低い。辺の長さが更に延長された場合には、面散乱又は体積散乱に起因する迷光の、単反射に起因する迷光からの分離は良好になるが、この場合、単反射に起因する迷光に対する測定信号も弱まる。 $1.0\text{ mm}$ の辺の長さを有する物体を利用することができない場合には、測定は、 $0.8\text{ mm}$ と $1.2\text{ mm}$ の間の辺の長さに対して実施することができる。提案する第2の部分対物系のレンズ面上の単反射を低減するための対策の適用時には、 $0.8\text{ mm}$ と $1.2\text{ mm}$ の間の辺の長さを有する四角形の物体を用い、瞳フィルファクタが  $= 0.2$  と  $= 0.3$  の間にある場合の迷光測定において、物体像の中心における迷光強度は、 $1.1\%$ よりも低い。

#### 【0031】

一実施形態では、 $0.8\text{ mm}$ と $1.2\text{ mm}$ の間の辺の長さを有する四角形の物体を用い、瞳フィルファクタが  $= 0.2$  と  $= 0.3$  の間にある場合の迷光測定において、物体像の中心における迷光強度は $0.9\%$ よりも低い。

#### 【0032】

更に別の実施形態では、 $0.8\text{ mm}$ と $1.2\text{ mm}$ の間の辺の長さを有する四角形の物体を用い、瞳フィルファクタが  $= 0.2$  と  $= 0.3$  との間である場合の迷光測定において、物体像の中心における迷光強度は $0.5\%$ よりも低い。

#### 【0033】

第2の部分対物系のレンズ面の迷光への寄与は、単反射の形成が瞳フィルファクタに大幅に依存するので、像平面における像視野内の迷光を2つの異なる瞳フィルファクタに対して測定し、迷光の変化を判断することによって判断することができる。それとは対照的に、例えば、面散乱又は体積散乱のような像平面内の迷光の他の原因は、瞳フィルファクタへの低い依存性をもたらし、単反射と比較するとほぼ照明に依存しないバックグラウンド照明を引き起こす。従って、迷光測定は、最初に瞳フィルファクタ  $= 1.0$  に実施され、次に、瞳フィルファクタ  $= 0.2$  に実施される。投影露光装置の照明系がこれらのフィルファクタを提供しない場合には、迷光測定においてそれぞれ  $= 0.8$  と  $= 1.0$  の間、及び  $= 0.2$  と  $= 0.3$  の間の瞳フィルファクタが用いられる。提案する単反射を低減するための対策が第2の部分対物系のレンズ面に適用された場合には、像視野内の像点における  $= 0.2$  と  $= 0.3$  の間の瞳フィルファクタに対する迷光強度と、 $= 0.8$  と  $= 1.0$  の間の瞳フィルファクタに対する迷光強度との間の最大差は、 $0.3\%$ よりも小さい。

#### 【0034】

本発明の一実施形態では、第2の部分対物系は、 $0.8$ と $1.25$ の間の結像比の絶対値を有する。この場合、第2の部分対物系は、第1の中間像を実質的に1:1で第2の中間像上に結像する。

#### 【0035】

本発明の一実施形態では、第2の部分対物系の凹ミラーは、瞳平面の領域に配置され、

その位置は、近軸主光線と投影対物系の光軸との交差点からもたらされる。この場合、凹ミラーは、像視野から出射する全ての主光線の凹ミラーにおける最大高さが、凹ミラーの光学的使用領域の直径の20%よりも低い時に瞳平面領域に配置される。

【0036】

第2の部分対物系が、一方で0.8と1.25の間の結像比の絶対値を有し、他方で瞳平面領域内に凹ミラーを有する場合には、第2の部分対物系において、凹ミラーに関して実質的に対称な構成が生じる。更に、第2の部分対物系におけるレンズ面が、周縁光線同心からのいかなるずれも有さないか又は僅かなずれしか有さない場合には、このレンズ面において反射された迷光は、少なくとも近似的に第2の中間像と一致する迷光中間像を発生させ、従って、第3の部分対物系によって像平面に結像される。第2の部分対物系のこの構成は、像視野湾曲及び色収差の補正に対して確かに好ましいが、許容することができない単反射を引き起こす可能性がある。この場合、この単反射は、レンズ面における周縁光線同心からの目標とされるずれ、及び改善された反射防止コーティングを用いたレンズ面のコーティングによって低減することができる。

【0037】

本発明の一実施形態では、第2の中間像は、第2の折り返しミラーの領域に配置される。この場合、第2の中間像は、第2の折り返しミラーと同じ光軸との交差点を有して光軸に対して垂直に配置された仮想平面において、光軸から、光軸から最大の距離を有する物体視野内の物体点から出射する主光線への半径方向距離の半分が周縁光線の半径方向距離よりも大きい時に、第2の折り返しミラーの領域に配置される。この場合、周縁光線同心を判断するのに既に定められた周縁光線が用いられる。この場合、迷光中間像が第2の中間像上に位置しなくなった途端に、迷光ビームは、第2の折り返しミラーの物理的境界によって口径食を受け、この単反射の迷光強度は低減する。

【0038】

本発明の一実施形態では、第2の部分対物系内の全てのレンズは、第1の中間像又は第2の中間像に対してよりも、凹ミラーに対してより近い位置に配置される。第2の部分対物系のレンズは光軸に沿って延びているので、レンズ距離を求めるために、2つのレンズ頂点の間の中点が求められ、距離は、この中点から測定される。この場合、2つの中間像の位置は、中間像の近軸位置からもたらされる。第2の部分対物系のレンズが、中間像に対してよりも凹ミラーに対して近い位置に配置されることにより、これらのレンズは、第2の折り返しミラーからも大きく分離する。一方、迷光中間像が第2の中間像と完全に一致しない場合には、第2の折り返しミラーに対するレンズ面の距離が大きくなる程、第2の折り返しミラーの物理的障壁に起因する第2の折り返しミラーの口径食効果も大きくなる。

【0039】

本発明の一実施形態では、反射屈折投影対物系は、投影対物系以外に物体平面内の物体視野を照明するための照明系を更に有するマイクロリソグラフィのための投影露光装置の一部である。

【0040】

投影露光装置を用いて半導体構成要素及び他の微細構造化構成要素を製造するために、所定のパターンを有するレチクルが反射屈折投影対物系の物体平面に、かつ感光層を有するウェーハが反射屈折投影対物系の像平面に設けられ、このレチクルが照明系を用いて照明され、最終的にレチクルの照明領域が、反射屈折投影対物系を用いてウェーハ上に結像される。

【0041】

本発明の詳細を図に示す例示的な実施形態に基づいて以下により完全に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0042】

【図1】 反射屈折投影対物系のレンズ断面を投影光路と共に示す図である。

【図2】 図1による投影対物系のレンズ断面を迷光路と共に示す図である。

【図 3】反射防止コーティングの概略図である。

【図 4】反射防止コーティングの概略図である。

【図 5】反射防止コーティングの概略図である。

【図 6】図 3 から図 5 による反射防止コーティングの反射率値の入射角の関数としてのグラフである。

【図 7】瞳フィルファクタ  $= 0.2$  に対する迷光強度分布を等強度線図として示す図である。

【図 8】図 1 による投影対物系内で 2 度の通過を受けるレンズの  $0.2\%$  の反射率を有する反射防止コーティングの場合の迷光強度プロファイル図である。

【図 9】図 1 による投影対物系内で 2 度の通過を受けるレンズの図 4 による反射防止コーティングの場合の迷光強度プロファイル図である。

【図 10】迷光測定技術を示すための概略図である。

【図 11】反射屈折投影対物系のレンズ断面を投影ビーム光路と共に示す図である。

【図 12】図 11 による投影対物系のレンズ断面を迷光路と共に示す図である。

【図 13】図 11 による投影対物系のレンズ断面を迷光路と共に示す図である。

【図 14】図 11 による投影対物系内で 2 度の通過を受けるレンズの  $0.2\%$  の反射率を有する反射防止コーティングの場合の迷光強度プロファイルの図である。

【図 15】図 11 による投影対物系内で 2 度の通過を受けるレンズの図 4 による反射防止コーティングの場合の迷光強度プロファイルの図である。

【図 16】反射屈折投影対物系のレンズ断面を投影ビーム光路と共に示す図である。

【図 17】反射屈折投影対物系のレンズ断面を投影ビーム光路と共に示す図である。

【図 18】マイクロリソグラフィ投影露光装置の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0043】

図 1 は、反射屈折投影対物系 1 のレンズ断面を示している。投影対物系 1 の光学設計は、2009 年 4 月 9 日に公開された Omura という名義の特許出願 US 2009/0092925 A1 から引用したものであり、本出願内の図 4 に対応する。この設計の光学データは、US 2009/0092925 A1 の表に要約されている。従って、投影対物系 1 の光学設計のより詳細説明に対しては、US 2009/0092925 A1 を参照されたい。投影対物系 1 は、物体平面 5 内の物体視野 3 を像平面 9 内の像視野 7 上に結像する。投影対物系 1 は、物体視野 3 を第 1 の実中間像 13 上に結像する第 1 の部分対物系 11、第 1 の中間像 13 を第 2 の実中間像 17 上に結像する第 2 の部分対物系 15、及び第 2 の中間像 17 を像視野 7 上に結像する第 3 の部分対物系 19 を含む。第 2 の部分対物系 15 は、凹ミラー 21、並びに 2 つのレンズ L21 及び L22 を有する反射屈折対物系として実施される。第 1 の中間像 13 の領域内には、物体平面 5 から到着する投影光 31 を凹ミラー 21 の方向に偏向する折り返しミラー 23 が配置される。第 2 の中間像 17 の領域内には、凹ミラー 21 から到着する投影光を像平面 9 の方向に偏向する折り返しミラー 25 が配置される。

【0044】

迷光が、単反射、二重反射、又は多重反射として像平面 9 へと通過し、像平面 9 でバックグラウンド照明を引き起こす際に通る迷光路を求めるために、投影対物系 1 に対して迷光解析を実施した。図 2 は、投影対物系 1 において、投影光 31 が、以下でレンズ L21 の後面と呼ぶレンズ L21 の凹ミラー 21 に対面する面において反射されることによって発生するそのような迷光路 33 を示している。例示している迷光路 33 では、投影光路 31 からずれる迷光 33 は、レンズ L22 及び凹ミラー 21 を通過しないが、投影光 31 が、凹ミラー 21 における反射の後にレンズ L22 を通過し、その後、再度レンズ L21 内に入射した場合に同じく通過することになるそれ以降の全ての光学面を通過する。迷光路 33 では、迷光中間像 35 が折り返しミラー 25 の領域内で発生し、従って、同時に事実上第 2 の中間像 17 の位置においても発生する。その結果、事実上全ての迷光が、第 2 の折り返しミラー 25 により、折り返しミラー 25 の物理的境界によって口径食を受けるこ



となく反射され、投影光 3 1 と同様に、像平面 9 に至るまで第 3 の部分対物系 1 9 を通過する。開口絞り 2 9 は、開口絞り平面の領域内にある空間的に境界が定められた絞りをを用いて、投影光 3 1 が大きく口径食を受けることなしに迷光をフィルタリング除去することも可能ではないように、迷光によって事実上完全に照明される。

#### 【 0 0 4 5 】

上述の結果、レンズ L 2 1 の後面は、非常に高い迷光強度を有する単反射を引き起こす。この場合、迷光強度は、投影光の強度にレンズ L 2 1 の後面の反射率を乗じたものにほぼ対応する。この強い単反射は、レンズ L 2 1 の後面が  $0.6^\circ$  の周縁光線同心度を有することに起因して発生する。従って、事実上周縁光線同心がもたらされる。第 2 の部分対物系 1 5 が、 $1.03$  という結像比の絶対値を有することと共に、凹ミラー 2 1 が瞳平面の領域に配置されることにより、事実上第 2 の中間像 1 7 の位置で迷光中間像 3 5 が発生し、従って、迷光 3 3 が、第 2 の折り返しミラー 2 5 を通じてほぼ完全に伝達される。

#### 【 0 0 4 6 】

$15.9^\circ$  の値を有するレンズ L 2 1 の前面も同様に小さい周縁光線同心度を有し、その結果、この面も像平面 9 内の迷光への寄与を生じる。凹ミラー 2 1 に対面するレンズ L 2 2 の後面の周縁光線同心度は  $24.0^\circ$ 、レンズ L 2 2 の前面の周縁光線同心度は  $22.9^\circ$  であり、その結果、これらの 2 つの面も、同様に像平面 9 内の迷光に寄与するが、これらの寄与のマグニチュードは、レンズ 2 1 の後面のものよりも遥かに小さい。非常に一般的に、第 2 の部分対物系 1 5 のレンズ L 2 1 及び L 2 2 は、2 度の通過を受けるレンズであり、これらのレンズを通じて投影光 3 1 が、凹ミラー 2 1 に向う光路と凹ミラー 2 1 から離れる光路の両方を通過するので、これらの両方のレンズが迷光を受け易いと捉えるべきである。2 度の通過を受ける上述のレンズ L 2 1 及び L 2 2 のレンズ面において反射された迷光光線が第 2 の折り返しミラー 2 5 を通過すると直ぐに、そのような迷光光線は、像平面 9 に到達し、外来光に寄与する可能性がある。これは、この種類の投影対物系の基本的な問題である。

#### 【 0 0 4 7 】

単反射の場合には、像平面 9 内の迷光の強度は、迷光が反射されるレンズ面の反射率に線形に依存する。従って、投影対物系 1 内で 2 度の通過を受けるレンズ L 2 1 及び L 2 2 のレンズ面は、 $193.3\text{ nm}$  の投影光波長、及び  $0^\circ$  と  $30^\circ$  の間の入射角度範囲に対して  $0.2\%$  よりも低い反射率を有する反射防止コーティングで覆われる。図 3 から図 5 は、そのような反射防止コーティングの様々な例示的な実施形態を示している。

#### 【 0 0 4 8 】

図 3 は、水晶 ( $\text{SiO}_2$ ) で構成されたレンズ基板 3 3 9 から続く反射防止コーティング 3 3 7 の層シーケンスを概略図で示している。反射防止コーティング 3 3 7 は、高屈折率を有する材料と低屈折率を有する材料とで交互に構成された 6 つの層を含む。低屈折率を有する材料としては、フッ化マグネシウム ( $\text{MgF}_2$ ) が用いられる。高屈折率を有する材料としては、フッ化ランタン ( $\text{LaF}_3$ ) が用いられる。個々の層の幾何学的厚み、材料、及び屈折率、並びに図 3 に用いている参照符号も表 1 に示す。図 3 では、個々の層の厚みを互いに対して正しく示している。

#### 【 0 0 4 9 】

(表 1)

参照記号	厚み [nm]	材料	屈折率
339	基板	$\text{SiO}_2$	1.56
341	21.568	$\text{LaF}_3$	1.69
343	67.626	$\text{MgF}_2$	1.42
345	29.775	$\text{LaF}_3$	1.69
347	42.969	$\text{MgF}_2$	1.42
349	34.261	$\text{LaF}_3$	1.69
351	26.823	$\text{MgF}_2$	1.42

## 【 0 0 5 0 】

図 4 は、高屈折率を有する材料と低屈折率を有する材料とで交互に構成された 6 つの層を順に含む反射防止コーティング 4 3 7 の実施形態を示している。低屈折率を有する材料としては、 $\text{MgF}_2$  が用いられ、高屈折率を有する材料としては、 $\text{LaF}_3$  が用いられる。個々の層の厚み、材料、及び屈折率、並びに図 4 に用いている参照符号も表 2 にまとめられている。

## 【 0 0 5 1 】

( 表 2 )

参照記号	厚み [nm]	材料	屈折率
439	基板	$\text{SiO}_2$	1.56
441	13.762	$\text{LaF}_3$	1.69
443	69.414	$\text{MgF}_2$	1.42
445	42.945	$\text{LaF}_3$	1.69
447	16.440	$\text{MgF}_2$	1.42
449	40.914	$\text{LaF}_3$	1.69
451	30.145	$\text{MgF}_2$	1.42

## 【 0 0 5 2 】

図 5 は、高屈折率を有する材料と低屈折率を有する材料とで交互に構成された 7 つの層を含む反射防止コーティング 5 3 7 の例示的な実施形態を示している。低屈折率を有する材料としては、 $\text{MgF}_2$  が用いられ、高屈折率を有する材料としては、 $\text{LaF}_3$  が用いられる。個々の層の厚み、材料、及び屈折率、並びに図 5 に用いている参照符号も表 3 にまとめられている。

## 【 0 0 5 3 】

( 表 3 )

参照記号	厚み [nm]	材料	屈折率
539	基板	$\text{SiO}_2$	1.56
541	37.738	$\text{MgF}_2$	1.42
543	15.378	$\text{LaF}_3$	1.69
545	9.098	$\text{MgF}_2$	1.42
547	29.126	$\text{LaF}_3$	1.69
549	36.117	$\text{MgF}_2$	1.42
551	29.917	$\text{LaF}_3$	1.69
553	33.958	$\text{MgF}_2$	1.42

## 【 0 0 5 4 】

図 6 は、図 3 から図 5 に例示している反射防止コーティング 3 3 7、4 3 7、及び 5 3 7 に対して、反射率値を単位 [°] の入射角の関数として単位 [%] で示している。一点鎖線の反射率曲線 6 5 5 は、表 1 による層構成を有する反射防止コーティング 3 3 7 に関する結果であり、実線の反射率曲線 6 5 7 は、表 2 による層構成を有する反射防止コーティング 4 3 7 に関する結果であり、破線の反射率曲線 6 5 9 は、表 3 による層構成を有する反射防止コーティング 5 3 7 に関する結果である。全ての 3 つの反射防止コーティングの場合に、0°から 30°の入射角度範囲に対する反射率曲線 6 5 5、6 5 7、及び 6 5 9 は、0.2%の反射率値を下回り、反射率曲線 6 5 7 及び 6 5 9 は更に、0.1%の反射率値よりも小さい。20°の入射角までは、反射率曲線 6 5 5、6 5 7、及び 6 5 9 は、0.1%の反射率値を下回り、更に、0.05%の反射率値よりも小さい。3つの反射防止コーティングのすべての場合に、0°から 10°の入射角度範囲に対する反射率曲線 6 5 5、6 5 7 及び 6 5 9 は、0.02%の反射率値さえも下回る。

## 【 0 0 5 5 】

投影対物系の所定の光学設計に適する光線追跡プログラムを用いることにより、反射防

止コーティングを考慮しながら像平面内の迷光の強度分布を計算することができる。図 7 は、投影対物系 1 に対して、像平面 9 内の迷光の強度分布 7 6 1 を等強度線図で示している。等強度線は、0.1% の間隔で示したものである。この場合、迷光強度は、像視野内の均一な周囲輝度に関連する。シミュレーションでは、物体視野 3 を瞳フィルファクタ  $= 0.2$  を用いて均一に照明した。この場合、第 2 の部分対物系 1 5 内で 2 度の通過を受けるレンズ L 2 1 及び L 2 2 のレンズ面における単反射のみを迷光として考慮した。この場合、全での入射角に対して 0.2% の反射率を有する反射防止コーティングでレンズ面を被覆した。二重反射又は高次の反射を低減するのに用いられるもののような反射防止コーティングは、上述の反射率値を有する。二重反射は、2 回の反射に起因して僅か  $0.2\% \cdot 0.2\% = 0.0004\%$  の強度しか持たないので、そのような反射を回避するには、0.2% の反射率で十分である。しかし、等強度線図によると、そのような反射防止コーティングが、憂慮される単反射の形成を実質的に抑制しないことが明らかになる。単反射は、破線を用いて示している像視野 7 6 3 を完全に照明しており、像視野にわたって少なくとも 0.4% のバックグラウンド照明を引き起こし、広範囲にわたる領域内で 0.8% さえも超えるバックグラウンド照明を引き起こしている。像視野 7 の範囲と同等である像平面 9 内の迷光の範囲は、図 2 でレンズ L 2 1 の後面における単反射に対して明らかになったように、物体視野 3 の迷光像が、ほぼ像平面 9 内に位置することによって引き起こされる。

#### 【0056】

図 8 は、像視野 7 の中心を通して像視野 7 の縦方向に延びる線 7 6 5 に沿って強度分布 7 6 1 を通る断面を強度分布 8 6 7 として示している。最大迷光強度は像中心において 0.93% であり、 $x = \pm 1.3 \text{ mm}$  にある像縁部において 0.41% である。瞳フィルファクタ  $= 0.2$  の場合だけでなく、瞳フィルファクタ  $= 1.0$  の場合、すなわち、投影対物系の入射瞳の完全な照明の場合にも迷光シミュレーションを実施した。図 8 には、瞳フィルファクタ  $= 1.0$  に対する迷光強度分布を線 7 6 5 に沿って通る断面を強度分布 8 6 9 として破線で示している。投影対物系の入射瞳の完全な照明の場合には、最大迷光強度は、0.40% である。像視野 7 内では、迷光強度は事実上一定の値を有する。迷光強度が瞳フィルファクタに強く依存することは明らかである。従って、瞳フィルファクタ  $= 1.0$  に対する像視野 7 内の最大迷光強度は、瞳フィルファクタ  $= 0.2$  に対するものよりも 0.523% だけ低い。これは、単反射によって引き起こされる迷光の特性である。面散乱又は体積散乱に起因する迷光も、同様に像視野全体におけるバックグラウンド照明を引き起こすが、その強度分布は、単反射と比較すると、像平面における瞳フィルファクタに事実上依存しない。測定された迷光が、この事例と同様に瞳フィルファクタに強い依存性を有する場合には、この依存性は、単反射の形成を示している。

#### 【0057】

図 9 は、第 2 の部分対物系のレンズ面が、表 2 に示している層構成を有する反射防止コーティング 4 3 7 で覆われた場合に発生する瞳フィルファクタ  $= 0.2$  に対する強度分布 9 7 1、及び瞳フィルファクタ  $= 1.0$  に対する強度分布 9 7 3 を迷光強度分布を通る断面として示している図である。改善された反射防止コーティングを用いると、像視野 7 内の最大迷光強度は、瞳フィルファクタ  $= 0.2$  では、0.93% から 0.02% へと低下し、瞳フィルファクタ  $= 1.0$  では、0.40% から 0.01% へと低下する。図 9 では、強度軸の目盛りを図 8 の目盛りと比較して 10 倍だけ細かくしていることを考慮する必要がある。改善された反射防止コーティングでは、2 つの瞳フィルファクタの間の迷光の最大変化は、僅かに 0.01% であり、従って、無視できる程に小さい。従って、改善された反射防止コーティング 4 3 7 を用いて単反射を実質的に抑制することができる。従って、瞳フィルファクタ  $= 0.2$  に対して一度、更に、瞳フィルファクタ  $= 1.0$  に対して一度、像視野 7 内の迷光強度を測定することにより、第 2 の部分対物系 1 5 内で 2 度の通過を受けるレンズの単反射の影響は、他の原因を有して選択された瞳フィルファクタに依存しない迷光への更に別の寄与とは独立して求めることができる。

#### 【0058】

像平面内の迷光を測定するために、特に、US 2009/0086179 A1に説明されているいわゆるKirk試験が用いられる。Kirk試験では、所定の辺の長さ、例えば、1.0 mmを有し、自体では発光しない四角形の物体が、物体視野3に配置される。用いられる物体は、例えば、照明光を完全に吸収する、従って、「黒色」と見なすことができる小箱である。それとは対照的に、小箱の周囲は、照明光によって均一に照明される。小箱は、投影対物系1によって像平面9内に結像される。理想的な結像の場合に迷光を無視すると、像平面9内に四角形の非照明領域が発生することになる。図10は、小箱の像の領域内の強度分布を通る断面を概略図に示す。理想的な結像の場合に迷光を無視すると、破線で示している強度曲線1075が発生し、この曲線1075は、小箱の像の領域内で100%から0%へと突然降下する。しかし、迷光は、小箱の像の中心1081において暗くなく、強度が検出される可能性がある効果を有する。実線で示している強度曲線1077は、第2の部分対物系15のレンズ面における単反射に対処した場合に発生する強度分布を示している。面散乱又は体積散乱に起因する迷光は、一点鎖線で示している強度分布1079を引き起こし、小箱の十分な辺の長さが与えられた場合には、小箱の像の中心に大きく低い迷光強度を引き起こす。小箱の辺の長さが1.0 mmであることにより、迷光の測定中に第2の部分対物系15のレンズ面の寄与を他の迷光寄与から区別することができる。この場合、小箱の像の中心1081における強度値は、小箱の外側に配置された迷光源から生じる累積迷光強度に対応する。

【0059】

瞳フィルファクタ = 0.2に対して及び1.0 mmの辺の長さを有する小箱に対して、部分対物系15の全てのレンズ面が、全ての入射角に対して0.2%の反射率を有する反射防止コーティングで覆われた場合には、小箱の像の中心では、1.1%の強度が発生する。それとは対照的に、レンズL21及びL22のレンズ面が、表2に示している反射防止コーティング437で覆われた場合には、小箱の像の中心における迷光強度は、0.3%へと低下する。この場合、0.8 mmと1.2 mmの間の辺の長さを有する四角形の小箱を用いたKirk試験による迷光の測定は、単反射に起因する迷光比率を直接判断することを可能にする。

【0060】

図11は、反射屈折投影対物系1101のレンズ断面を示している。図11において図1による要素に対応する要素は、図1におけるものと同じ参照符号を1100という数値だけ増大した参照符号を有し、これらの要素の説明では、図1に関する説明を参照する。

【0061】

投影対物系1101に関する光学データは、表4にまとめられている。非球面は、次のサジッタ公式によって記述することができる。

【0062】

【数1】

$$p(h) = \frac{\frac{1}{R}h^2}{1 + \sqrt{1 - (1+K)\left(\frac{1}{R}\right)^2 h^2}} + \sum_{k=1} C_k h^{2k+2}$$

【0063】

この場合、pは、光軸に対して垂直なある平面から半径方向距離が[mm]においてhである場合の非球面頂点までの非球面の軸線方向距離を[mm]で表し、Rは、頂点半径を[mm]で表し、Kは、円錐定数を表し、C<sub>k</sub>は、k次の個々の非球面定数を[1/mm<sup>2k+2</sup>]で表している。

【0064】

投影対物系1101は、像平面1109において開口数NA = 1.2を有する。作動波長は、193.306 nmである。像視野1107は、26.0 mm × 5.5 mmであり、光軸1127からの1.98 mmの最小距離を有する。投影対物系1101は、0.2

5 という結像比の絶対値を有する。この場合、作動中に液浸液として水が最後のレンズ面と露光される物体との間に置かれる液浸投影対物系が含まれる。

【0065】

第1の部分対物系1111は、面1から20によって形成され、第2の部分対物系1115は、面22から26によって形成され、第3の部分対物系1119は、面28から52によって形成される。折り返しミラー1123及び1125は、平面ミラーとして結像に対していかなる影響も持たず、投影光1131を偏向させるだけであるから、面番号21及び27を有する折り返しミラー1123及び1125は、3つの部分対物系1111、1115、及び1119のいずれにも割り当てられない。第1の部分対物系1111は、1.05という結像比の絶対値を有し、第2の部分対物系1115は、1.01という結像比の絶対値を有し、第3の部分対物系1119は、0.23という結像比の絶対値を有する。

【0066】

物体視野1103から出射し、開口絞り1129の位置で光軸1127と交差する全ての主光線は、凹ミラー1121において、凹ミラー1121の光学的使用領域の直径の9.1%よりも低い高さを有する。従って、凹ミラー1121は、投影対物系1101の瞳平面の領域に配置される。

【0067】

物体点( $x = 52.00\text{ mm}$ ,  $y = 29.93\text{ mm}$ )から出射する主光線は、第2の折り返しミラー1125と同じ位置で光軸1127と交差して光軸1127に対して垂直な仮想平面内で光軸からの70mmの半径方向距離を有する。それとは対照的に、仮想周縁光線は、この平面内ではば1.5mmの半径方向距離を有する。この場合、物体点( $x = 52.00\text{ mm}$ ,  $y = 29.93\text{ mm}$ )は、物体視野1103内で光軸1127からの最大距離を有する。従って、第2の中間像1117は、第2の折り返しミラー1125の領域に配置される。

【0068】

表4の一連のレンズ面は、投影光路に対応する。投影光は、図示の順序で全ての面を通過する。第2の部分対物系1115のレンズL1111は、2度の通過を受け、従って、表4では、面番号22及び23、並びに26及び25で2度示している。この場合、レンズL1111は、第2の部分対物系1115内で唯一のレンズである。レンズL1111と凹ミラー1121の間の距離は、40.2mmである。第1の近軸中間像は、凹ミラー1121から321.12mmの距離を有し、第2の近軸中間像は、凹ミラー1121から316.25mmの距離を有する。従って、レンズL1111は、第1の中間像1113又は第2の中間像1117に対してよりも凹ミラー1121に対して近い位置に配置される。

【0069】

原理的には、レンズL1111は、第2の部分対物系内で2度の通過を受けるレンズとしてのその配列に起因して、像平面1109内での単反射の生成に関して重要になる。しかし、レンズL1111の凹ミラー1121に対面するレンズ面、すなわち、レンズL1111の後面は、30.0°の周縁光線同心度を有し、前面は、30.8°の周縁光線同心度を有する。すなわち、両方の面は、周縁光線同心から大きくずれる。同時に、第2の折り返しミラー1125の範囲は、投影光ビーム1131の範囲に適應される。この場合、第2の折り返しミラー1125上の投影光ビームの範囲は、141.1mm×65.4mmであるのに対して、第2の折り返しミラー1125は、145mm×70mmの範囲を有する。レンズL1111の2つのレンズ面の周縁光線同心からのずれ、及び投影光ビームの範囲に適應された第2の折り返しミラー1125に起因して、単反射の形成は大幅に抑制される。

【0070】

図12は、図11による例示的な実施形態において投影光1131がレンズL1111の後面において反射された場合に形成される迷光路1233を示している。迷光路123

3 から、迷光中間像 1 2 3 5 は、第 2 の折り返しミラー 1 1 2 5 上には形成されず、折り返しミラー 1 1 2 5 から分離して、開口絞り 1 1 2 9 を有する開口絞り平面の近くに形成されることが明らかになる。従って、第 2 の折り返しミラー 1 1 2 5 における迷光ビームは、第 2 の折り返しミラー 1 1 2 5 よりも非常に大きい範囲を有し、大幅に口径食を受ける。その結果、物体平面 1 1 0 5 内の迷光ビームは、最大可能開口と比較して小さい開口しか持たない。更に、この迷光は、光軸の周囲の絞りによって遮蔽することができるように、開口絞り 1 1 2 9 の領域内に強く集束される。

#### 【0071】

図 1 3 は、図 1 1 による例示的な実施形態において投影光 1 1 3 1 がレンズ L 1 1 1 1 の前面において反射された場合に形成される迷光路 1 3 3 3 を示している。この場合、レンズ L 1 1 1 1 の直後に、従って、同じく折り返しミラー 1 1 2 5 から分離して迷光中間像 1 3 3 5 が形成され、従って、第 2 の折り返しミラー 1 1 2 5 における迷光ビームは、第 2 の折り返しミラー 1 1 2 5 よりも非常に大きい範囲を有し、大幅に口径食を受ける。

#### 【0072】

レンズ L 1 1 1 1 の前面及び後面が、周縁光線同心から  $20^\circ$  よりも大きくずれることにより、像平面 1 1 0 9 内での単反射の形成を大幅に抑制することができる。

#### 【0073】

第 2 の部分対物系 1 1 1 5 のレンズ面の特定の構成による単反射の低減を示すために、投影対物系 1 1 0 1 に対して迷光シミュレーションを実施し、像平面 1 1 0 9 内の迷光強度分布を求めた。シミュレーションでは、最初に瞳フィルファクタ  $= 0.2$  を用いて、次に、瞳フィルファクタ  $= 1.0$  を用いて物体視野 1 1 0 3 を均一に照明した。この場合、第 2 の部分対物系 1 1 1 5 内で 2 度の通過を受けるレンズ L 1 1 1 1 のレンズ面における単反射のみを迷光として考慮している。この場合、レンズ面は、全ての入射角に対して  $0.2\%$  の反射率を有する反射防止コーティングで覆われる。図 1 4 は、像視野 1 1 0 7 の中心を通過して像視野 1 1 0 7 の縦方向に延びる線に沿った瞳フィルファクタ  $= 0.2$  に対する迷光強度分布を通る断面を強度分布 1 4 8 3 を用いて示している。最大迷光強度は、像中心において  $0.18\%$  であり、 $x = \pm 1.3 \text{ mm}$  にある像縁部において  $0.13\%$  である。図 1 4 では、瞳フィルファクタ  $= 1.0$  に対する迷光強度分布を通る断面を強度分布 1 4 8 5 として例示している。最大迷光強度は、投影対物系の入射瞳の完全照明の場合に、僅か  $0.01\%$  である。瞳フィルファクタへの迷光の依存性が依然として明らかであるが、瞳フィルファクタ  $= 1.0$  と瞳フィルファクタ  $= 0.2$  の間の変化は  $0.17\%$  しかない。

#### 【0074】

図 1 5 は、第 2 の部分対物系のレンズ面が表 2 に示している層構成を有する反射防止コーティング 4 3 7 で覆われた場合に発生する迷光強度分布を通る断面として、瞳フィルファクタ  $= 0.2$  に対する強度分布 1 4 8 7、及び瞳フィルファクタ  $= 1.0$  に対する強度分布 1 4 8 9 を示している。改善された反射防止コーティングを用いると、像視野 1 1 0 7 内の最大迷光強度は、瞳フィルファクタ  $= 0.2$  では、 $0.18\%$  から  $0.004\%$  へと低下し、瞳フィルファクタ  $= 1.0$  では、 $0.01\%$  から  $0.002\%$  へと低下する。ここでもまた、図 1 5 では、強度軸の目盛りを図 1 4 の目盛りと比較して 10 倍だけ細かくしていることを考慮する必要がある。上述の結果、実際的に単反射はもはや検出することはできない。

#### 【0075】

部分対物系 1 1 1 5 の全てのレンズ面が、全ての入射角に対して  $0.2\%$  の反射率を有する反射防止コーティングで覆われた場合に、 $1.0 \text{ mm}$  の辺の長さを有する四角形の小箱を用いた Kirk 試験を用いると、瞳フィルファクタ  $= 0.2$  に対して、小箱の像中心で  $0.4\%$  の強度が生じる。それとは対照的に、レンズ L 1 1 1 1 のレンズ面が、表 2 に示している反射防止コーティング 4 3 7 で覆われた場合には、小箱の像中心における迷光強度は、 $0.3\%$  に低下する。

#### 【0076】

図 16 は、反射屈折投影対物系 1601 のレンズ断面を示している。図 16 において、図 1 による要素に対応する要素は、図 1 におけるものと同じ参照符号を 1600 という数値だけ増大した参照符号を有し、これらの要素の説明では、図 1 に関する説明を参照する。

#### 【0077】

投影対物系 1601 に関する光学データは、表 5 にまとめられている。投影対物系 1601 は、像平面 1609 において開口数  $NA = 1.2$  を有する。作動波長は、 $193.306 \text{ nm}$  である。像視野 1607 は、 $26.0 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm}$  であり、光軸 1627 からの  $1.98 \text{ mm}$  の最小距離を有する。投影対物系 1601 は、 $0.25$  という結像比の絶対値を有する。この場合、作動中に液浸液として水が最後のレンズ面と露光される物体との間に置かれる液浸投影対物系が含まれる。

#### 【0078】

第 1 の部分対物系 1611 は、面 1 から 20 によって形成され、第 2 の部分対物系 1615 は、面 22 から 26 によって形成され、第 3 の部分対物系 1619 は、面 28 から 52 によって形成される。第 1 の部分対物系 1611 は、 $1.03$  という結像比の絶対値を有し、第 2 の部分対物系 1615 は、 $1.01$  という結像比の絶対値を有し、第 3 の部分対物系 1619 は、 $0.24$  という結像比の絶対値を有する。

#### 【0079】

物体視野 1603 から出射し、開口絞り 1629 の位置で光軸 1627 と交差する全ての主光線は、凹ミラー 1621 において、凹ミラー 1621 の光学的使用領域の直径の  $8.6\%$  よりも低い高さを有する。従って、凹ミラー 1621 は、投影対物系 1601 の瞳平面の領域に配置される。

#### 【0080】

物体点 ( $x = 52 \text{ mm}$ ,  $y = 29.93 \text{ mm}$ ) から出射する主光線は、第 2 の折り返しミラー 1625 と同じ位置で光軸 1627 と交差して光軸 1627 に対して垂直な仮想平面内で  $68.29 \text{ mm}$  の半径方向距離を有する。それとは対照的に、仮想周縁光線は、上述の平面内で  $0.82 \text{ mm}$  の半径方向距離しか持たない。この場合、物体点 ( $x = 52 \text{ mm}$ ,  $y = 29.93 \text{ mm}$ ) は、物体視野 1603 内で光軸 1627 からの最大距離を有する。従って、第 2 の中間像 1617 は、第 2 の折り返しミラー 1625 の領域に配置される。

#### 【0081】

レンズ L 1611 は、第 2 の部分対物系 1615 内で唯一のレンズである。レンズ L 1611 の前面と後面の両方が非球面として構成される。レンズ L 1611 と凹ミラー 1621 の間の距離は、 $40.2 \text{ mm}$  である。第 1 の近軸中間像は、凹ミラー 1621 から  $300.48 \text{ mm}$  の距離を有し、第 2 の近軸中間像は、凹ミラー 1621 から  $316.25 \text{ mm}$  の距離を有する。従って、レンズ L 1611 は、第 1 の中間像 1613 又は第 2 の中間像 1617 に対してよりも凹ミラー 1621 に対して近い位置に配置される。

#### 【0082】

レンズ L 1611 の凹ミラー 1621 に対面するレンズ面、すなわち、レンズ L 1611 の後面は、 $30.9^\circ$  の周縁光線同心度を有し、前面は、 $30.2^\circ$  の周縁光線同心度を有する。すなわち、両方の面は、周縁光線同心から大きくずれる。

#### 【0083】

図 17 は、反射屈折投影対物系 1701 のレンズ断面を示している。図 17 において図 1 による要素に対応する要素は、図 1 におけるものと同じ参照符号を 1700 という数値だけ増大した参照符号を有し、これらの要素の説明では、図 1 に関する説明を参照する。

#### 【0084】

投影対物系 1701 に関する光学データは、表 6 にまとめられている。投影対物系 1701 は、像平面 1709 において開口数  $NA = 1.2$  を有する。作動波長は、 $193.307 \text{ nm}$  である。像視野 1707 は、 $26.0 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm}$  であり、光軸 1727 からの  $1.98 \text{ mm}$  の最小距離を有する。投影対物系 1701 は、 $0.25$  という結像比の

絶対値を有する。この場合、作動中に液浸液として水が最後のレンズ面と露光される物体との間に置かれる液浸投影対物系が含まれる。

【0085】

第1の部分対物系1711は、面1から22によって形成され、第2の部分対物系1715は、面24から28によって形成され、第3の部分対物系1719は、面30から58によって形成される。第1の部分対物系1711は、0.96という結像比の絶対値を有し、第2の部分対物系1715は、1.00という結像比の絶対値を有し、第3の部分対物系1719は、0.26という結像比の絶対値を有する。

【0086】

物体視野1703から出射し、開口絞り1729の位置で光軸1727と交差する全ての主光線は、凹ミラー1721において、凹ミラー1721の光学的使用領域の直径の7.5%よりも低い高さを有する。従って、凹ミラー1721は、投影対物系1701の瞳平面の領域に配置される。

【0087】

物体点( $x = 52\text{ mm}$ ,  $y = 29.93\text{ mm}$ )から出射する主光線は、第2の折り返しミラー1725と同じ位置で光軸1727と交差して光軸1727に対して垂直な仮想平面内で67.77mmの半径方向距離を有する。それとは対照的に、仮想周縁光線は、上述の平面内で1.27mmの半径方向距離しか持たない。この場合、物体点( $x = 52\text{ mm}$ ,  $y = 29.93\text{ mm}$ )は、物体視野1703内で光軸1727からの最大距離を有する。従って、第2の中間像1717は、第2の折り返しミラー1725の領域に配置される。

【0088】

レンズL1712は、第2の部分対物系1715内で唯一のレンズである。レンズ1712の前面と後面の両方が非球面として構成される。レンズL1712と凹ミラー1721の間の距離は33.4mmである。第1の近軸中間像は、凹ミラー1721から188.92mmの距離を有し、第2の近軸中間像は、凹ミラー1721から189.59mmの距離を有する。従って、レンズL1712は、第1の中間像1713又は第2の中間像1717に対してよりも凹ミラー1721に対して近い位置に配置される。

【0089】

レンズL1712の凹ミラー1721に対面するレンズ面、すなわち、レンズL1712の後面は、38.6°の周縁光線同心度を有し、前面は、20.0°の周縁光線同心度を有する。すなわち、両方の面は、周縁光線同心からずれる。投影対物系1101におけるレンズL1111<sub>1</sub>、及び投影対物系1601におけるレンズL1611と比較すると、レンズL1712のレンズ屈曲は、レンズL1111又はL1611のものと反対である。レンズL1111又はL1611の前面の場合には、仮想周縁光線の交差点における表面法線は、周縁光線と光軸1127及び1627それぞれの間に延びるが、レンズL1712の前面の場合には、仮想周縁光線は、周縁光線の交差点における表面法線と光軸1727の間に延びている。その結果、レンズL1712の前面は、第1の中間像1713から入射する周縁光線に対して凸に湾曲する。

【0090】

図18は、半導体構成要素又は他の微細構造化構成要素を製造するように機能するマイクロリソグラフィのための投影露光装置1801を略示している。投影露光装置1801は、光源として193nmの作動波長を有するエキシマレーザ1803を有するが、例えば、157nm又は248nmの作動波長を有する他のエキシマレーザも可能である。下流に配置された照明系1805は、はっきりと境界が定められ、均一に照明され、同時に、角度分布に関して下流に配置された投影対物系1813の要件に適應された照明視野を発生させる。照明系1805は、照明モードを選択するためのデバイス<sub>1805</sub>を有し、それによって例えば照明系1805の射出瞳内、又は下流に配置された投影対物系1813の入射瞳内に可変瞳フィルファクタ<sub>1805</sub>を有する従来照明、環状照明、双極照明、又は四重極照明を発生させることができる。



## 【 0 0 9 1 】

光方向に照明系 1 8 0 5 の下流には、レチクル 1 8 0 7 を保持して操作するためのデバイス 1 8 0 9 が配置される。マスクとも呼ぶレチクル 1 8 0 7 は、結像される構造を有する。デバイス 1 8 0 9 を用いると、走査目的でレチクル 1 8 0 7 を物体平面 1 8 1 1 内で走査方向に移動させることができる。

## 【 0 0 9 2 】

投影対物系 1 8 1 3 は、図 1、図 1 1、図 1 6、及び図 1 7 を用いて説明した反射屈折投影対物系である。反射屈折投影対物系 1 8 1 3 は、レチクル 1 8 0 7 の照明系 1 8 0 5 によって照明される部分をウェーハ 1 8 1 5 上に縮小方式で結像する。ウェーハ 1 8 1 5 は、投影光による照射を受けて露光される感光層を有する。

## 【 0 0 9 3 】

ウェーハ 1 8 1 5 は、レチクルの走査移動と同期化されたウェーハ 1 8 1 5 の平行移動を可能にするデバイス 1 8 1 9 によって保持される。また、デバイス 1 8 1 9 は、投影対物系 1 8 1 3 の像平面 1 8 1 7 内にウェーハ 1 8 1 5 を最適に位置決めするマニピュレータを有する。デバイス 1 8 1 9 は、投影対物系の液浸使用に向けて設計される。デバイス 1 8 1 9 は、ウェーハ 1 8 1 5 を保持するための浅い窪み又は凹部を有する保持ユニット 1 8 2 1 を有する。保持ユニット 1 8 2 1 は、液浸媒体 1 8 2 5 が流れ出すのを防止する周縁 1 8 2 3 を有する。

## 【 0 0 9 4 】

投影露光装置は、中央コンピュータユニット 1 8 2 7 によって制御される。

## 【 0 0 9 5 】

従って、投影露光装置 1 8 0 1 を用いて半導体構成要素又は他の微細構造化構成要素を製造するために、所定のパターンを有するレチクル 1 8 0 7 が反射屈折投影対物系 1 8 1 3 の物体平面 1 8 1 1 内に設けられ、感光層を有するウェーハ 1 8 1 5 が、反射屈折投影対物系 1 8 1 3 の像平面に設けられ、照明系 1 8 0 5 を用いてレチクル 1 8 0 7 が照明され、最終的に、反射屈折投影対物系 1 8 1 3 を用いてレチクル 1 8 0 7 の照明領域が、ウェーハ 1 8 1 5 上に結像される。

## 【 0 0 9 6 】

( 表 4 )

NA	1.2
物体高さ	60
波長	193.306

面	半径	厚み	材料	屈折率	半直径
0	0.000000	50.000000			60.0
1	0.000000	8.000000	SiO2	1.560326	75.8
2	0.000000	59.610620			77.4
3	1439.380884	32.013517	SiO2	1.560326	97.3
4	-271.207483	2.110453			99.0
5	583.614042	16.197420	SiO2	1.560326	100.5
6	1991.428343	3.396948			100.2
7	137.148931	46.192632	SiO2	1.560326	99.4
8	1990.872673	35.955682			95.9
9	71.140440	46.083036	SiO2	1.560326	64.8
10	74.802466	57.285100			47.1
11	-67.442491	36.623983	SiO2	1.560326	45.5
12	-120.009774	0.999896			67.8

13	-316.440706	21.841425	SiO2	1.560326	76.2
14	-166.255801	36.560578			81.2
15	-182.509454	38.166255	SiO2	1.560326	94.7
16	-116.928613	0.999888			100.2
17	2344.762362	37.265639	SiO2	1.560326	108.4
18	-253.120036	0.999878			109.2
19	208.087128	40.064181	SiO2	1.560326	102.3
20	-744.545556	61.091342			99.6
21	0.000000	-287.184726	ミラー		70.8
22	100.735080	-15.000002	SiO2	1.560326	77.3
23	1546.908367	-32.735719			95.3
24	154.868408	32.735719	ミラー		97.4
25	1546.908367	15.000002	SiO2	1.560326	95.3
26	100.735080	287.184726			77.3
27	0.000000	-67.470410	ミラー		71.5
28	1166.218905	-26.117540	SiO2	1.560326	89.9
29	228.675901	-0.999977			92.6
30	-229.673150	-62.112757	SiO2	1.560326	102.2
31	1651.573796	-4.139282			101.4
32	-168.631918	-115.053946	SiO2	1.560326	98.5
33	-494.607195	-10.890377			72.1
34	-2693.637221	-9.999917	SiO2	1.560326	71.0
35	-182.034682	-26.163167			66.3
36	458.881180	-9.999883	SiO2	1.560326	66.6
37	-150.000000	-53.839743			70.5
38	116.341201	-37.590742	SiO2	1.560326	73.3
39	158.311181	-1.000526			96.0
40	540.901698	-31.553546	SiO2	1.560326	112.9
41	236.220218	-0.999904			117.3
42	-344.717958	-65.184212	SiO2	1.560326	139.6
43	282.807945	-3.863222			140.0
44	-254.540028	-48.998341	SiO2	1.560326	136.3
45	-13988.972761	-24.472967			133.8
46	0.000000	10.645713			124.2
47	-159.621355	-50.079617	SiO2	1.560326	115.6
48	-320.728784	-20.982865			106.5
49	-125.755069	-48.738034	SiO2	1.560326	87.2
50	-767.843186	-0.999622			74.0
51	-57.414214	-57.012850	SiO2	1.560326	50.1
52	0.000000	-1.000000	H2O	1.470000	16.4
53	0.000000	0.000000			

	非球面	定数			
面	8	15	20	23	25
K	0	0	0	0	0
C1	6.212168E-08	-2.065631E-08	3.954655E-08	4.109750E-08	4.109750E-08
C2	-2.284725E-12	1.154467E-12	-1.975939E-13	-2.014598E-12	-2.014598E-12
C3	4.919789E-17	-1.754944E-16	-2.888308E-17	1.434330E-16	1.434330E-16
C4	1.170467E-20	-1.439257E-21	1.773508E-21	-1.120664E-20	-1.120664E-20
C5	-1.050170E-24	4.255683E-25	-5.791298E-26	6.611410E-25	6.611410E-25
C6	2.860117E-29	-2.463045E-29	9.438651E-31	-1.801493E-29	-1.801493E-29
面	33	35	37	40	43
K	0	0	0	0	0
C1	-8.304509E-08	-1.571447E-07	1.854475E-07	5.368234E-09	-2.403621E-08
C2	3.027151E-12	-1.893541E-11	1.105850E-11	-9.295068E-13	-1.650116E-13
C3	-1.487997E-15	2.354878E-15	-3.337902E-15	-4.764400E-17	-1.675626E-17
C4	1.391498E-19	-3.277504E-19	5.695337E-19	-6.981458E-22	7.042709E-22
C5	-5.936943E-24	3.740597E-24	-5.380116E-23	5.210284E-26	-7.079479E-27
C6	-3.355570E-28	3.816347E-27	2.436028E-27	1.403914E-30	-9.754026E-32
面	48	50			
K	0	0			
C1	3.410190E-08	-1.004308E-07			
C2	-6.659776E-12	4.830886E-12			
C3	4.814964E-16	-1.220533E-15			
C4	-2.364870E-20	1.499788E-19			
C5	7.232487E-25	-1.105452E-23			
C6	-9.143981E-30	2.727683E-28			

	偏心	及び傾斜			
面	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	アルファ	ベータ
21	0	0	0	45	0
27	0	0	0	45	0

【 0 0 9 7 】

( 表 5 )

NA	1.2
物体高さ	60
波長	193.306

面	半径	厚み	材料	屈折率	半直径
0	0.000000	50.000000			60.0
1	0.000000	8.000000	SiO <sub>2</sub>	1.560326	75.8
2	0.000000	52.869064			77.4
3	1151.891547	30.208455	SiO <sub>2</sub>	1.560326	95.4
4	-297.772920	3.256949			97.0
5	392.306364	20.384062	SiO <sub>2</sub>	1.560326	99.2
6	2065.429234	7.942304			98.7
7	127.761865	45.517258	SiO <sub>2</sub>	1.560326	96.0
8	969.751914	34.534602			92.1
9	72.468670	38.613055	SiO <sub>2</sub>	1.560326	62.1
10	73.543725	56.553595			46.3
11	-68.108298	31.573318	SiO <sub>2</sub>	1.560326	46.0
12	-109.674176	0.999866			65.2
13	-328.152276	23.012797	SiO <sub>2</sub>	1.560326	74.4
14	-156.396340	49.715086			79.2
15	-201.140848	38.713984	SiO <sub>2</sub>	1.560326	98.1
16	-122.640971	0.999882			103.2
17	2881.906041	35.379085	SiO <sub>2</sub>	1.560326	109.1
18	-269.889474	0.999898			109.8
19	201.477991	40.395129	SiO <sub>2</sub>	1.560326	102.2
20	-820.910555	64.207152			99.4
21	0.000000	-272.609099	ミラー		68.5
22	95.391786	-15.000002	SiO <sub>2</sub>	1.560326	75.6
23	1195.870422	-32.735719			93.6
24	150.428374	32.735719	ミラー		95.7
25	1195.870422	15.000002	SiO <sub>2</sub>	1.560326	93.6
26	95.391786	272.609099			75.6
27	0.000000	-66.033144	ミラー		69.5
28	1947.063451	-26.673854	SiO <sub>2</sub>	1.560326	89.0
29	233.589947	-0.999701			91.7
30	-199.473771	-82.749765	SiO <sub>2</sub>	1.560326	101.9
31	3119.046646	-0.999910			98.4
32	-163.659814	-97.677532	SiO <sub>2</sub>	1.560326	94.7
33	-539.497284	-13.721631			71.9
34	641.496250	-9.999860	SiO <sub>2</sub>	1.560326	70.4
35	-263.409377	-22.259722			65.3
36	545.844495	-9.999869	SiO <sub>2</sub>	1.560326	65.6
37	-150.000000	-51.094164			69.1
38	122.880466	-44.260917	SiO <sub>2</sub>	1.560326	72.0

39	175.327963	-1.012444			98.0
40	452.453640	-29.086710	SiO2	1.560326	112.9
41	252.725536	-0.999886			117.1
42	-302.044457	-64.007583	SiO2	1.560326	139.9
43	305.246700	-6.812911			140.0
44	-260.892072	-48.787934	SiO2	1.560326	137.1
45	-63738.396409	-13.368774			134.7
46	0.000000	12.334911			129.6
47	-172.500300	-51.001701	SiO2	1.560326	121.3
48	-373.082563	-16.645823			113.1
49	-112.356012	-65.439167	SiO2	1.560326	89.5
50	-320.098458	-1.015712			65.8
51	-54.459312	-52.887119	SiO2	1.560326	47.4
52	0.000000	-1.000000	H2O	1.470000	16.4
53	0.000000	0.000000			15.0

	非球面	定数			
面	8	15	20	22	23
K	0	0	0	0	0
C1	6.337290E-08	-2.289285E-08	3.811590E-08	-1.408703E-08	3.501090E-08
C2	-2.575433E-12	1.432217E-12	-4.102034E-14	-1.345623E-12	-1.799694E-12
C3	7.627829E-17	-1.580637E-16	-3.621641E-17	-1.762608E-16	1.094631E-16
C4	1.450407E-20	-5.394281E-22	2.030758E-21	-3.325862E-20	-9.420105E-21
C5	-1.543958E-24	3.014031E-25	-6.452103E-26	-2.817912E-25	6.875122E-25
C6	4.707930E-29	-1.444085E-29	1.025805E-30	-4.961418E-28	-2.101511E-29
面	25	26	33	35	37
K	0	0	0	0	0
C1	3.501090E-08	-1.408703E-08	-3.145690E-08	-2.578536E-07	1.520597E-07
C2	-1.799694E-12	-1.345623E-12	4.063324E-12	-2.457425E-11	1.942927E-11
C3	1.094631E-16	-1.762608E-16	-1.462751E-15	2.999712E-15	-4.917419E-15
C4	-9.420105E-21	-3.325862E-20	7.092121E-20	-3.983598E-19	8.521190E-19
C5	6.875122E-25	-2.817912E-25	7.491721E-24	-1.456563E-23	-8.041405E-23
C6	-2.101511E-29	-4.961418E-28	-1.243101E-27	5.238173E-27	3.671590E-27
面	40	43	48	50	
K	0	0	0	0	
C1	-1.092116E-08	-3.583758E-08	4.087867E-08	-1.635385E-07	
C2	-9.361667E-13	3.835468E-14	-5.710459E-12	1.465150E-12	
C3	-4.749385E-17	-2.007621E-17	3.741501E-16	-2.027656E-15	
C4	-4.357573E-22	1.168203E-21	-1.621453E-20	2.148610E-19	
C5	1.246971E-25	-2.521599E-26	4.063636E-25	-1.061058E-23	
C6	-1.486578E-30	1.420584E-31	-4.118469E-30	-6.881746E-28	

	偏心	及び傾斜			
面	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	アルファ	ベータ
21	0	0	0	45	0
27	0	0	0	45	0

【 0 0 9 8 】

( 表 6 )

NA	1.2
物体高さ	60
波長	193.306

面	半径	厚み	材料	屈折率	半直径
0	0.000000	50.000000			60.0
1	0.000000	8.000000	SiO <sub>2</sub>	1.560326	75.8
2	0.000000	50.933772			77.4
3	-727.775952	25.801782	SiO <sub>2</sub>	1.560326	91.7
4	-216.030845	0.999536			94.2
5	211.040976	39.710297	SiO <sub>2</sub>	1.560326	100.0
6	-1076.869902	0.999021			98.8
7	112.711195	31.326403	SiO <sub>2</sub>	1.560326	87.5
8	214.295126	0.999021			82.2
9	66.802488	35.387213	SiO <sub>2</sub>	1.560326	65.6
10	66.108395	78.774319			54.5
11	-55.465504	9.999279	SiO <sub>2</sub>	1.560326	46.8
12	-298.251888	8.105868			72.0
13	-253.844073	52.611973	SiO <sub>2</sub>	1.560326	80.0
14	-100.868104	0.999465			90.1
15	-254.089180	50.743218	SiO <sub>2</sub>	1.560326	105.4
16	-122.616553	0.999454			113.0
17	-325.389469	35.368071	SiO <sub>2</sub>	1.560326	127.5
18	-192.299059	0.999384			130.8
19	857.924664	43.506291	SiO <sub>2</sub>	1.560326	134.2
20	-402.182966	0.999406			133.9
21	176.032352	46.901034	SiO <sub>2</sub>	1.560326	117.2
22	891.737549	71.819796			112.8
23	0.000000	-160.998496	ミラー		69.5
24	-208.477853	-20.000004	SiO <sub>2</sub>	1.560326	53.4
25	-111.736857	-23.422421			54.3
26	134.874404	23.422421	ミラー		55.0
27	-111.736857	20.000004	SiO <sub>2</sub>	1.560326	54.3

28	-208.477853	160.998496			53.4
29	0.000000	-65.065512	ミラー		67.8
30	4804.317970	-34.969769	SiO2	1.560326	101.2
31	223.557361	-0.999140			104.7
32	-647.576916	-33.517562	SiO2	1.560326	114.7
33	511.971879	-0.999339			115.8
34	-182.695186	-51.687095	SiO2	1.560326	118.0
35	-4375.653897	-0.999619			115.4
36	-131.735101	-46.203705	SiO2	1.560326	97.8
37	-1809.243103	-4.477930			91.6
38	-573.465666	-9.999876	SiO2	1.560326	88.1
39	-83.272578	-56.613234			66.8
40	99.102012	-9.999038	SiO2	1.560326	66.0
41	-124.605516	-52.681306			67.0
42	96.638032	-42.501820	SiO2	1.560326	69.1
43	143.757600	-0.999495			94.1
44	-589.601528	-42.492551	SiO2	1.560326	123.1
45	416.503743	-0.999625			125.6
46	-393.581824	-32.891473	SiO2	1.560326	135.3
47	929.275942	-0.999694			135.2
48	-239.988808	-45.788842	SiO2	1.560326	138.8
49	-1114.851901	-57.991878			136.9
50	0.000000	35.538482			125.2
51	-256.373888	-39.977376	SiO2	1.560326	125.8
52	-2489.189597	-0.999817			122.9
53	-112.292298	-50.358269	SiO2	1.560326	100.7
54	-179.732403	-23.614201			86.6
55	-186.994041	-26.151602	SiO2	1.560326	79.8
56	2504.333895	-0.998913			74.1
57	-52.818237	-54.338932	SiO2	1.560326	47.2
58	0.000000	-1.000000	H2O	1.470000	16.4
59	0.000000	0.000000			

	非球面	定数			
面	8	15	22	24	25
K	0	0	0	0	0
C1	8.438429E-08	-1.014379E-07	-9.680776E-10	4.589290E-07	6.275710E-07
C2	-2.229236E-12	2.468382E-12	4.462665E-13	-3.839142E-11	-6.326297E-11
C3	5.317063E-16	-1.792692E-16	2.908499E-18	3.043656E-15	7.577756E-15
C4	-5.325798E-20	4.554263E-21	-1.022012E-21	6.631085E-19	7.226551E-20
C5	5.933879E-24	-1.724388E-25	4.498781E-26	-2.125048E-22	-2.141074E-22
C6	-2.077845E-28	5.778429E-31	-7.354023E-31	2.274431E-26	2.995536E-26
面	27	28	37	39	40
K	0	0	0	0	0
C1	6.275710E-07	4.589290E-07	-7.232518E-08	-3.945726E-08	-3.396052E-07
C2	-6.326297E-11	-3.839142E-11	-2.217467E-13	-3.426461E-12	-1.972920E-11
C3	7.577756E-15	3.043656E-15	2.847604E-16	-1.874953E-16	3.767085E-15
C4	7.226551E-20	6.631085E-19	-4.835319E-20	-1.321859E-19	-5.439776E-19
C5	-2.141074E-22	-2.125048E-22	3.646996E-24	1.333399E-23	2.984282E-23
C6	2.995536E-26	2.274431E-26	-1.391467E-28	-5.465124E-28	-2.440112E-27
面	44	47	54	56	
K	0	0	0	0	
C1	-1.325605E-08	-4.372799E-08	-7.345028E-08	-7.547169E-08	
C2	1.550416E-12	8.360768E-13	-1.135658E-11	-6.239064E-12	
C3	-6.951071E-17	-3.668297E-18	8.060461E-16	1.564526E-15	
C4	1.294568E-21	-1.473145E-21	-1.202219E-19	-3.045032E-19	
C5	5.461199E-26	7.932242E-26	7.589632E-24	2.788162E-23	
C6	-2.663009E-30	-1.459442E-30	-3.785640E-28	-1.205165E-27	

	偏心	及び傾斜			
面	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	アルファ	ベータ
23	0	0	0	45	0
29	0	0	0	45	0

## 【符号の説明】

【0099】

- 1 反射屈折投影対物系
- 3 物体視野
- 5 物体平面
- 7 像視野
- 9 像平面
- 11 第1の部分対物系
- 13 第1の実中間像
- 15 第2の部分対物系
- 17 第2の実中間像
- 19 第3の部分対物系
- 23 第1の折り返しミラー



## 2 5 第 2 の折り返しミラー

## L 2 1、L 2 2 レンズ

## 【手続補正 2】

【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】

物体視野を第 1 の実中間像上に結像するための第 1 の部分対物系と、  
前記第 1 の中間像を第 2 の実中間像上に結像するための第 2 の部分対物系と、  
前記第 2 の中間像を像視野上に結像するための第 3 の部分対物系と、  
を含み、

前記第 2 の部分対物系が、厳密に 1 つの凹ミラーを有し、かつ少なくとも 1 つのレンズを有する反射屈折対物系であり、かつ

物体平面から到着する放射線を前記凹ミラーの方向に偏向するための第 1 の折り返しミラー、及び該凹ミラーから到着する該放射線を像平面の方向に偏向するための第 2 の折り返しミラーが設けられた、

物体平面内の物体視野を像平面内の像視野上に結像するためのマイクロリソグラフィのための反射屈折投影対物系であって、

前記第 2 の部分対物系の前記レンズの少なくとも 1 つの面が、150 nm と 250 nm の間の作動波長に対して、かつ 0° と 30° の間の入射角度範囲に対して 0.2% よりも低い反射率を有する反射防止コーティングを有する、

ことを特徴とする反射屈折投影対物系。

【請求項 2】

前記反射防止コーティングは、高屈折率を有する材料と低屈折率を有する材料とで交互に構成された少なくとも 6 つの層を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の反射屈折投影対物系。

【請求項 3】

前記低屈折率を有する材料は、フッ化マグネシウム、フッ化アルミニウム、フッ化ナトリウム、フッ化リチウム、フッ化カルシウム、フッ化バリウム、フッ化ストロンチウム、クリオライト、チオライト、及びこれらの組合せから成る群から選択される誘電体であることを特徴とする請求項 2 に記載の反射屈折投影対物系。

【請求項 4】

前記高屈折率を有する材料は、フッ化ネオジム、フッ化ランタン、フッ化ガドリニウム、フッ化ジスプロシウム、酸化アルミニウム、フッ化鉛、フッ化イットリウム、及びこれらの組合せから成る群から選択された誘電体であることを特徴とする請求項 2 又は請求項 3 に記載の反射屈折投影対物系。

【請求項 5】

前記少なくとも 1 つの面は、周縁光線同心からの 20° よりも小さいずれを有し、ここで、前記物体平面において光軸から出射し、かつ前記像平面において最大開口数に対応する入射角を有する周縁光線が、前記レンズ面で 0° の入射角を有する場合に、周縁光線同心が存在するものであることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の反射屈折投影対物系。

【請求項 6】

物体視野を第 1 の実中間像上に結像するための第 1 の部分対物系と、  
前記第 1 の中間像を第 2 の実中間像上に結像するための第 2 の部分対物系と、  
前記第 2 の中間像を像視野上に結像するための第 3 の部分対物系と、  
を含み、

前記第 2 の部分対物系が、厳密に 1 つの凹ミラー、及び少なくとも 1 つのレンズを有す

る反射屈折対物系であり、かつ

物体平面から到着する放射線を前記凹ミラーの方向に偏向するための第 1 の折り返しミラー、及び該凹ミラーから到着する該放射線を像平面の方向に偏向するための第 2 の折り返しミラーが設けられた、

物体平面内の物体視野を像平面内の像視野上に結像するためのマイクロリソグラフィのための反射屈折投影対物系であって、

前記第 2 の部分対物系の前記レンズの全ての面が、周縁光線同心からのずれが  $20^\circ$  よりも大きい又はそれに等しいように構成され、ここで、前記物体平面において光軸から出射し、かつ前記像平面において最大開口数に対応する入射角を有する周縁光線が、前記レンズ面で  $0^\circ$  の入射角を有する場合に、周縁光線同心が存在するものである、

ことを特徴とする反射屈折投影対物系。

【請求項 7】

前記第 2 の部分対物系は、厳密に 1 つのレンズを有することを特徴とする請求項 6 に記載の反射屈折投影対物系。

【請求項 8】

前記レンズの両方のレンズ面が、非球面で構成されることを特徴とする請求項 7 に記載の反射屈折投影対物系。

【請求項 9】

前記第 2 の部分対物系は、 $0.8$  と  $1.25$  の間の結像比の絶対値を有することを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の反射屈折投影対物系。

【請求項 10】

前記凹ミラーは、瞳平面の領域に配置され、前記凹ミラーで前記物体視野から出射する全ての主光線の最大高さが、該凹ミラーの光学的に利用されている領域の直径の  $20\%$  よりも小さい、

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の反射屈折投影対物系。

【請求項 11】

前記第 2 の中間像は、前記第 2 の折り返しミラーの領域に配置され、

前記光軸に垂直に配置され、かつ前記第 2 の折り返しミラーと同じ該光軸との交差点を有する平面において、該光軸から、該光軸からの最大距離を有する前記物体視野内の物体点から出射するその主光線への半径方向距離の半分が、該光軸から前記物体平面において出射し、かつ前記像平面において前記最大開口数に対応する入射角を有する前記周辺光線の半径方向距離よりも大きい、

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の反射屈折投影対物系。

【請求項 12】

マイクロリソグラフィのための投影露光装置であって、

照明系と、

請求項 1 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載の反射屈折投影対物系と、

を含むことを特徴とする投影露光装置。