

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-39526

(P2011-39526A)

(43) 公開日 平成23年2月24日(2011.2.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO2B 17/08 (2006.01)	GO2B 17/08 A	2H087
GO2B 1/11 (2006.01)	GO2B 1/10 A	2K009
HO1L 21/027 (2006.01)	HO1L 21/30 515D	5F046

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L 外国語出願 (全 107 頁)

(21) 出願番号	特願2010-194864 (P2010-194864)	(71) 出願人	503263355 カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー エムペーハー
(22) 出願日	平成22年8月13日 (2010.8.13)		
(31) 優先権主張番号	10 2009 037 077.3		
(32) 優先日	平成21年8月13日 (2009.8.13)		
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		
		(74) 代理人	100092093 弁理士 辻居 幸一
		(74) 代理人	100082005 弁理士 熊倉 禎男
		(74) 代理人	100067013 弁理士 大塚 文昭
		(74) 代理人	100086771 弁理士 西島 孝喜

最終頁に続く

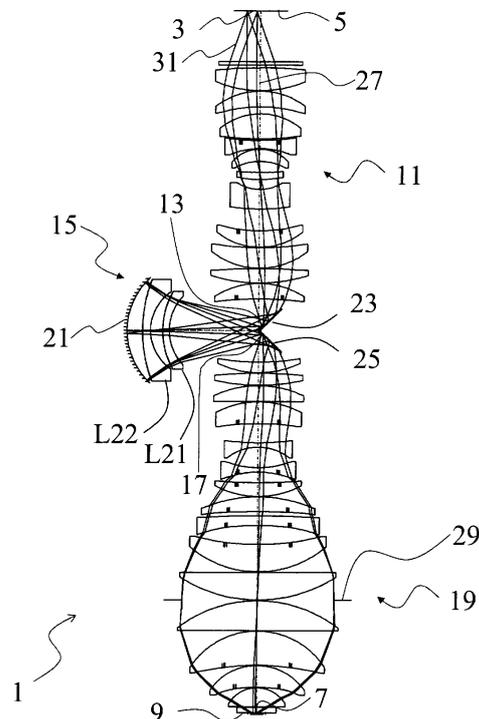
(54) 【発明の名称】 反射屈折投影対物系

(57) 【要約】

【課題】 反射屈折投影対物系、投影露光装置、及び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方法を提供する。

【解決手段】 物体平面の物体視野を像平面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は、物体視野を第1の実中間像上に結像する第1の部分対物系、第1の中間像を第2の実中間像上に結像する第2の部分対物系、及び第2の中間像を像視野上に結像する第3の部分対物系を含む。第2の部分対物系は、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る。第1の折り返しミラー及び第2の折り返しミラーが設けられる。第2の部分対物系のレンズの少なくとも1つの面は、0.2%よりも低い反射率を有する。代替的又は追加的に、第2の部分対物系のレンズの全ての面は、周縁光線同心からのずれが20°よりも大きいか又はそれに等しいように構成される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体視野を第 1 の実中間像 (1 3 , 1 1 1 3 , 1 6 1 3 , 1 7 1 3) 上に結像するための第 1 の部分対物系 (1 1 , 1 1 1 1 , 1 6 1 1 , 1 7 1 1) と、

前記第 1 の中間像を第 2 の実中間像 (1 7 , 1 1 1 7 , 1 6 1 7 , 1 7 1 7) 上に結像するための第 2 の部分対物系 (1 5 , 1 1 1 5 , 1 6 1 5 , 1 7 1 5) 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 (1 9 , 1 1 1 9 , 1 6 1 9 , 1 7 1 9) 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 (2 1 , 1 1 2 1 , 1 6 2 1 , 1 7 2 1) を有し、かつ少なくとも 1 つのレンズ (L 2 1 , L 2 2 , L 1 1 1 1 , L 1 6 1 1 , L 1 7 1 2) 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 (2 3 , 1 1 2 3 , 1 6 2 3 , 1 7 2 3) 、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 (2 5 , 1 1 2 5 , 1 6 2 5 , 1 7 2 5) が設けられた、

物体平面 (5 , 1 1 0 5 , 1 6 0 5 , 1 7 0 5) 内の物体視野 (3 , 1 1 0 3 , 1 6 0 3 , 1 7 0 3) を像平面 (9 , 1 1 0 9 , 1 6 0 9 , 1 7 0 9) 内の像視野 (7 , 1 1 0 7 , 1 6 0 7 , 1 7 0 7) 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 (1 , 1 1 0 1 , 1 6 0 1 , 1 7 0 1) であって、

第 2 の部分対物系のレンズ (L 2 1 , L 2 2 , L 1 1 1 1 , L 1 6 1 1 , L 1 7 1 2) 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 (3 3 7 , 4 3 7 , 5 3 7) 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 (3 3 7 , 4 3 7 , 5 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少なくとも 6 つの層 (3 3 9 , 3 4 1 , 3 4 3 , 3 4 5 , 3 4 7 , 3 4 9 , 3 5 1 ; 4 3 9 , 4 4 1 , 4 4 3 , 4 4 5 , 4 4 7 , 4 4 9 , 4 5 1 ; 5 3 9 , 5 4 1 , 5 4 3 , 5 4 5 , 5 4 7 , 5 4 9 , 5 5 1 , 5 5 3) 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す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 (1 1 1 3 , 1 6 1 3 , 1 7 1 3) 上に結像するための第 1 の部分対物系 (1 1 1 1 , 1 6 1 1 , 1 7 1 1) と、

前記第 1 の中間像を第 2 の実中間像 (1 1 1 7 , 1 6 1 7 , 1 7 1 7) 上に結像するための第 2 の部分対物系 (1 1 1 5 , 1 6 1 5 , 1 7 1 5) 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 (1 1 1 9 , 1 6 1 9

10

20

30

40

50

, 1719)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(1121, 1621, 1721)、及び少なくとも1つのレンズ(L1111, L1611, L1712)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(1123, 1623, 1723)、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(1125, 1625, 1725)が設けられた、

物体平面(1105, 1605, 1705)内の物体視野(1103, 1603, 1703)を像平面(1109, 1609, 1709)内の像視野(1107, 1607, 1707)上に結像するためのマイクロソグラフィのための反射屈折投影対物系(1101, 1601, 1701)であって、

第2の部分対物系(1115, 1615, 1715)のレンズ(L1111, L1611, L1712)の全ての面が、周縁光線同心からのずれが20°よりも大きいか又はそれに等しいように構成される、

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(L1111, L1611, L1712)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(L1611, L1712)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】

物体視野を第1の実中間像(13, 1113, 1613, 1713)上に結像するための第1の部分対物系(11, 1111, 1611, 1711)と、

前記第1の中間像を第2の実中間像(17, 1117, 1617, 1717)上に結像するための第2の部分対物系(15, 1115, 1615, 1715)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(19, 1119, 1619, 1719)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(21, 1121, 1621, 1721)、及び少なくとも1つのレンズ(L21, L22, L1111, L1611, L1712)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(23, 1123, 1623, 1723)、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(25, 1125, 1625, 1725)が設けられた、

物体平面(5, 1105, 1605, 1705)内の物体視野(3, 1103, 1603, 1703)を像平面(9, 1109, 1609, 1709)内の像視野(7, 1107, 1607, 1707)上に結像するためのマイクロソグラフィのための反射屈折投影対物系(1, 1101, 1601, 1701)であって、

第2の部分対物系(15, 1115, 1615, 1715)のレンズ(L21, L22, L1111, L1611, L1712)が、反射防止コーティングを有するレンズ面を有し、

前記レンズ面及び/又は前記反射防止コーティングは、四角形の物体の像の中心(1081)において、強度が、前記像視野(7, 1107, 1607, 1707)内の最大強度と比較して1.1%よりも低くなるような方法で構成され、

前記物体は、

0.8mmと1.2mmの間の辺の長さを有し、

10

20

30

40

50

均一に照明される物体視野(3, 1103, 1603, 1703)内に配置され、
自体で発光せず、かつ

$\tau = 0.2$ と $\tau = 0.3$ の間の瞳フィルファクタによって前記像平面(9, 1109, 1609, 1709)内に結像される、
ことを特徴とする反射屈折投影対物系。

【請求項10】

物体視野を第1の実中間像(13, 1113, 1613, 1713)上に結像するための第1の部分対物系(11, 1111, 1611, 1711)と、

前記第1の中間像を第2の実中間像(17, 1117, 1617, 1717)上に結像するための第2の部分対物系(15, 1115, 1615, 1715)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(19, 1119, 1619, 1719)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(21, 1121, 1621, 1721)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(23, 1123, 1623, 1723)、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(25, 1125, 1625, 1725)が設けられた、

物体平面(5, 1105, 1605, 1705)内の物体視野(3, 1103, 1603, 1703)を像平面(9, 1109, 1609, 1709)内の像視野(7, 1107, 1607, 1707)上に結像するためのマイクロソグラフィのための反射屈折投影対物系(1, 1101, 1601, 1701)であって、

第2の部分対物系(15, 1115, 1615, 1715)のレンズ(L21, L22, L1111, L1611, L1712)が、反射防止コーティングを有するレンズ面を有し、

前記レンズ面及び/又は前記反射防止コーティングは、像視野(7, 1107, 1607, 1707)内で、像平面における $\tau = 0.2$ と $\tau = 0.3$ の間の瞳フィルファクタに対する偽光強度(971, 1483)と、 $\tau = 0.8$ と $\tau = 1.0$ の間の瞳フィルファクタに対する偽光強度(973, 1485)との間の最大差が0.3%よりも小さいように構成される、

ことを特徴とする反射屈折投影対物系。

【請求項11】

前記第2の部分対物系(15, 1115, 1615, 1715)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】

前記凹ミラー(21, 1121, 1621, 1721)は、瞳平面の領域に配置されることを特徴とする請求項1から請求項11のいずれか1項に記載の反射屈折投影対物系。

【請求項13】

前記第2の中間像(17, 1117, 1617, 1717)は、前記第2の折り返しミラー(25, 1125, 1625, 1725)の領域に配置されることを特徴とする請求項1から請求項12のいずれか1項に記載の反射屈折投影対物系。

【請求項14】

マイクロソグラフィのための投影露光装置(1801)であって、

照明系(1805)と、

請求項1から請求項13のいずれか1項に記載の反射屈折投影対物系(1813)と、

を含むことを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【 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。

10

【 0 0 0 3 】

この種の反射屈折投影対物系は、例えば、US 2009 / 0034061及びUS 2009 / 0092925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。

20

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 US 2009 / 0034061

【 特許文献 2 】 US 2009 / 0092925

【 特許文献 3 】 US 2009 / 0092925 A 1

【 特許文献 4 】 US 2009 / 0086179 A 1

30

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

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 7 】

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

40

50

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。

【0008】

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り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。

10

【0009】

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。

20

30

40

【0010】

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°の間の入射角に対して0.1%よりも低い反射率を有する。

【0011】

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

50

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 150 nm と 250 nm 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。

【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、 150 nm と 250 nm の間の波長、及び 0° と 20° の間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。

【0013】

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 nm と 250 nm の間の波長、及び 0° と 10° の間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。

10

【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、 150 nm と 250 nm の間の波長において、 0° と 30° 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、同時に 0° と 20° 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、 150 nm と 250 nm の間の波長において、 0° と 30° 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° と 20° 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° と 10° 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。

20

【0016】

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。

【0017】

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。

30

【0018】

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° から 30° 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。

【0019】

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。

40

【0020】

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。

【0021】

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° 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° 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

50

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° 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。

【0022】

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° 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應されるので、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。

【0023】

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。

【0024】

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。

【0025】

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。

【0026】

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。

10

20

【0027】

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、1.0mm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と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。1.0mm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、0.8mmと1.2mm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、0.8mmと1.2mm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。

30

【0028】

一実施形態では、0.8mmと1.2mm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。

【0029】

更に別の実施形態では、0.8mmと1.2mm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。

40

【0030】

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

50

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。

【0031】

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。

10

【0032】

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。

【0033】

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。

20

【0034】

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、物体視野内で光軸から最大の距離を有する物体点から出射する主光線の光軸から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。

30

【0035】

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。

40

【0036】

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

50

一部である。

【0037】

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。

【0038】

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】

10

【0039】

【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。

20

【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ィール図である。

【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ィール図である。

【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ィールの図である。

30

【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ィールの図である。

【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】

【0040】

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US2009/0092925A1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、US2009/0092925A1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、US2009/0092925A1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、投影平面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2

40

50

5 が配置される。

【 0 0 4 1 】

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、投影対物系 3 1 が、以下でレンズ L 2 1 の後面と呼ぶレンズ L 2 1 の凹ミラー 2 1 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 3 3 を示している。例示している迷光路 3 3 では、投影光路 3 1 からずれる迷光 3 3 は、レンズ L 2 2 及び凹ミラー 2 1 を通過しないが、投影光 3 1 が、凹ミラー 2 1 における反射の後にレンズ L 2 2 を通過し、その後、再度レンズ L 2 1 内に入射した場合と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 3 3 では、迷光中間像 3 5 が折り返しミラー 2 5 の領域内で発生し、従って、同時に事実上第 2 の中間像 1 7 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 2 5 により、折り返しミラー 2 5 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。

10

【 0 0 4 2 】

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° 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。

20

【 0 0 4 3 】

15.9° 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° 、レンズ L 2 2 の前面の周縁光線同心度は 22.9° 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 L 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。

30

【 0 0 4 4 】

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 nm の投影光波長、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。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。

40

【 0 0 4 5 】

図 3 は、水晶 (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 (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 (LaF_3) が用いられる。個々の層の幾何学的厚み、

50

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 6 】

(表 1)

参照記号	厚み [nm]	材料	屈折率
339	基板	SiO ₂	1.56
341	21.568	LaF ₃	1.69
343	67.626	MgF ₂	1.42
345	29.775	LaF ₃	1.69
347	42.969	MgF ₂	1.42
349	34.261	LaF ₃	1.69
351	26.823	MgF ₂	1.42

10

【 0 0 4 7 】

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、MgF₂ が用いられ、高屈折率を有する材料としては、LaF₃ 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 4 8 】

(表 2)

参照記号	厚み [nm]	材料	屈折率
439	基板	SiO ₂	1.56
441	13.762	LaF ₃	1.69
443	69.414	MgF ₂	1.42
445	42.945	LaF ₃	1.69
447	16.440	MgF ₂	1.42
449	40.914	LaF ₃	1.69
451	30.145	MgF ₂	1.42

20

30

【 0 0 4 9 】

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、MgF₂ が用いられ、高屈折率を有する材料としては、LaF₃ 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 0 】

(表 3)

参照記号	厚み [nm]	材料	屈折率
539	基板	SiO ₂	1.56
541	37.738	MgF ₂	1.42
543	15.378	LaF ₃	1.69
545	9.098	MgF ₂	1.42
547	29.126	LaF ₃	1.69
549	36.117	MgF ₂	1.42
551	29.917	LaF ₃	1.69
553	33.958	MgF ₂	1.42

40

【 0 0 5 1 】

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

50

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655は、表1による層構成を有する反射防止コーティング337に関する結果であり、実線の反射率曲線657は、表2による層構成を有する反射防止コーティング437に関する結果であり、破線の反射率曲線659は、表3による層構成を有する反射防止コーティング537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655、657、及び659は、0.2%の反射率値を下回り、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655、657、及び659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。反射防止コーティング337及び537の場合には、0°から10°の入射角度範囲に対する反射率曲線655及び659は、0.02%の反射率値さえも下回る。

10

【0052】

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761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15内で2度の通過を受けるレンズL21及びL22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%・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763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L21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。

20

30

【0053】

図8は、像視野7の中心を通過して像視野7の縦方向に延びる線765に沿って強度分布761を通る断面を強度分布867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765に沿って通る断面を強度分布869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。

40

【0054】

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437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

50

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 . 9 3 % から 0 . 0 2 % へと低下し、瞳フィルファクタ = 1 . 0 では、0 . 4 0 % から 0 . 0 1 % 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 1 0 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 . 0 1 % 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 10
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。

【 0 0 5 5 】

像平面内の迷光を測定するために、特に、U S 2 0 0 9 / 0 0 8 6 1 7 9 A 1 に説明されているいわゆる K i r k 試験が用いられる。K i r k 試験では、所定の辺の長さ、例えば、1 . 0 m m 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 1 0 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 1 0 7 5 が発生し、この曲線 1 0 7 5 は、小箱の像の領域内で 1 0 0 % から 0 % へと突然降下する。しかし、迷光は、小箱の像の中心 1 0 8 1 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 1 0 7 7 は、第 2 の部分対物系 1 5 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 1 0 7 9 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 m m であることにより、迷光の測定中に第 2 の部分対物系 1 5 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 1 0 8 1 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。 20
30

【 0 0 5 6 】

瞳フィルファクタ = 0 . 2 に対して及び 1 . 0 m m の辺の長さを有する小箱に対して、部分対物系 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 L 2 1 及び L 2 2 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 m m と 1 . 2 m m の間の辺の長さを有する四角形の小箱を用いた K i r k 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。 40

【 0 0 5 7 】

図 1 1 は、反射屈折投影対物系 1 1 0 1 のレンズ断面を示している。図 1 1 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 1 1 0 0 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。

【 0 0 5 8 】

投影対物系 1 1 0 1 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。

【 0 0 5 9 】

【数 1】

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

【0060】

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_k は、 k 次の個々の非球面定数を [1/m^{2k+2}] で表している。 10

【0061】

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、0.25 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。

【0062】

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。 20

【0063】

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。 30

【0064】

物体点 ($x = 52.00$ mm, $y = 29.93$ 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 70 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、この平面内でほぼ 1.5 mm の半径方向距離を有する。この場合、物体点 ($x = 52.00$ mm, $y = 29.93$ 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。 40

【0065】

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、40.2 mm である。第 1 の近軸中間像は、凹ミラー 1121 から 321.12 mm の距離を有し、第 2 の近軸中間像は、凹ミラー 1121 から 316.25 mm 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。 50

【0066】

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、 $141.1\text{mm} \times 65.4\text{mm}$ であるのに対して、第2の折り返しミラー1125は、 $145\text{mm} \times 70\text{mm}$ 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。

10

【0067】

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1133を示している。迷光路1233から、迷光中間像1235は、第2の折り返しミラー1125上には形成されず、折り返しミラー1125から分離して、開口絞り1129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1125における迷光ビームは、第2の折り返しミラー1125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1105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1129の領域内に強く集束される。

20

【0068】

図13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の前面において反射された場合に形成される迷光路1333を示している。この場合、レンズL1111の直後に、従って、同じく折り返しミラー1125から分離して迷光中間像1335が形成され、従って、第2の折り返しミラー1125における迷光ビームは、第2の折り返しミラー1125よりも非常に大きい範囲を有し、大幅に口径食を受ける。

【0069】

レンズL1111の前面及び後面が、周縁光線同心から 20° よりも大きくずれることにより、像平面909内での単反射の形成を大幅に抑制することができる。

30

【0070】

第2の部分対物系1115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1101に対して迷光シミュレーションを実施し、像平面1109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1103を均一に照明した。この場合、第2の部分対物系1115内で2度の通過を受けるレンズL1111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14は、像視野1107の中心を通過して像視野1107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1483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14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1485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。

40

【0071】

図15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437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

50

ファクタ = 0.2 に対する強度分布 1487、及び瞳フィルファクタ = 1.0 に対する強度分布 1489 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 1107 内の最大迷光強度は、瞳フィルファクタ = 0.2 では、0.13% から 0.01% 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 15 では、強度軸の目盛りを図 14 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。

【0072】

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、1.0 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 L1111 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、小箱の像中心における迷光強度は、0.3% に低下する。

10

【0073】

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。

【0074】

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 nm である。像視野 1607 は、26.0 mm × 5.5 mm であり、光軸 1627 からの 1.98 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。

20

【0075】

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。

30

【0076】

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。

【0077】

物体点 ($x = 5.2 \text{ mm}$, $y = 29.93 \text{ mm}$) 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 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 mm の半径方向距離しか持たない。この場合、物体点 ($x = 5.2 \text{ mm}$, $y = 29.93 \text{ mm}$) 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。

40

【0078】

レンズ L1611 は、第 2 の部分対物系 1615 内で唯一のレンズである。レンズ 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 L1611 と凹ミラー 1621 の間の距離は、40.2 mm である。第 1 の近軸中間像は、凹ミラー 1621 から 300.48 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 m

50

mの距離を有する。従って、レンズL 1 6 1 1は、第1の中間像1 6 1 3又は第2の中間像1 6 1 7に対してよりも凹ミラー1 6 2 1に対して近い位置に配置される。

【0079】

レンズL 1 6 1 1の凹ミラー1 6 2 1に対面するレンズ面、すなわち、レンズL 1 6 1 1の後面は、 30.9° の周縁光線同心度を有し、前面は、 30.2° 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。

【0080】

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。

10

【0081】

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 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 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。

【0082】

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。

20

【0083】

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。

【0084】

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 67.77 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 1.27 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。

30

【0085】

レンズL 1 7 1 2は、第2の部分対物系1715内で唯一のレンズである。レンズL 1 7 1 2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 1 7 1 2と凹ミラー1721の間の距離は 33.4 mm である。第1の近軸中間像は、凹ミラー1721から 188.92 mm の距離を有し、第2の近軸中間像は、凹ミラー1721から 189.59 mm の距離を有する。従って、レンズL 1 7 1 2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。

40

【0086】

レンズL 1 7 1 2の凹ミラー1721に対面するレンズ面、すなわち、レンズL 1 7 1 2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L 1 1 1、及び投影対物系1601におけるレンズL 1 6 1 1と比較すると、レンズL 1 7 1 2のレンズ屈曲は、レンズL 1 1 1又はL 1 6 1 1のものと反対である。レンズL 1 1 1又はL 1 6 1 1の前面の場合には、仮想周縁光線の交差点における表面

50

法線は、周縁光線と光軸 1 1 2 7 及び 1 6 2 7 それぞれの間に延びるが、レンズ L 1 7 1 2 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 1 7 2 7 の間に延びている。その結果、レンズ L 1 7 1 2 の前面は、第 1 の中間像 1 7 1 3 から入射する周縁光線に対して凸に湾曲する。

【 0 0 8 7 】

図 1 8 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 1 8 0 1 を略示している。投影露光装置 1 8 0 1 は、光源として 1 9 3 nm の作動波長を有するエキシマレーザ 1 8 0 3 を有するが、例えば、1 5 7 nm 又は 2 4 8 nm 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 1 8 0 5 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 1 8 1 3 の要件に適応された照明視野を発生させる。照明系 1 8 0 5 は、照明モードを選択するためのデバイスを有し、それによって例えば照明系 1 8 0 5 の射出瞳内、又は下流に配置された投影対物系 1 8 1 3 の入射瞳内に可変瞳フィルファクタ 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。

10

【 0 0 8 8 】

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。

20

【 0 0 8 9 】

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 0 】

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。

30

【 0 0 9 1 】

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 2 】

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 9 0 3 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。

40

【 0 0 9 3 】

(表 4)

NA	1.2
物体高さ	60
波長	193.306

50

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

10

20

30

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			

10

20

	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			

10

20

30

	偏心	及び傾斜			
面	Δx	Δy	Δz	アルファ	ベータ
21	0	0	0	45	0
27	0	0	0	45	0

【 0 0 9 4 】

(表5)

NA	1.2
物体高さ	60
波長	193.306

40

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	52.869064			77.4
3	1151.891547	30.208455	SiO2	1.560326	95.4
4	-297.772920	3.256949			97.0
5	392.306364	20.384062	SiO2	1.560326	99.2
6	2065.429234	7.942304			98.7
7	127.761865	45.517258	SiO2	1.560326	96.0
8	969.751914	34.534602			92.1
9	72.468670	38.613055	SiO2	1.560326	62.1
10	73.543725	56.553595			46.3
11	-68.108298	31.573318	SiO2	1.560326	46.0
12	-109.674176	0.999866			65.2
13	-328.152276	23.012797	SiO2	1.560326	74.4
14	-156.396340	49.715086			79.2
15	-201.140848	38.713984	SiO2	1.560326	98.1
16	-122.640971	0.999882			103.2
17	2881.906041	35.379085	SiO2	1.560326	109.1
18	-269.889474	0.999898			109.8
19	201.477991	40.395129	SiO2	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	SiO2	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	SiO2	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	SiO2	1.560326	89.0
29	233.589947	-0.999701			91.7
30	-199.473771	-82.749765	SiO2	1.560326	101.9
31	3119.046646	-0.999910			98.4
32	-163.659814	-97.677532	SiO2	1.560326	94.7
33	-539.497284	-13.721631			71.9
34	641.496250	-9.999860	SiO2	1.560326	70.4
35	-263.409377	-22.259722			65.3
36	545.844495	-9.999869	SiO2	1.560326	65.6
37	-150.000000	-51.094164			69.1
38	122.880466	-44.260917	SiO2	1.560326	72.0

10

20

30

40

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

10

	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	

20

30

40

	偏心	及び傾斜			
面	Δx	Δy	Δz	アルファ	ベータ
21	0	0	0	45	0
27	0	0	0	45	0

【 0 0 9 5 】

(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	SiO2	1.560326	75.8
2	0.000000	50.933772			77.4
3	-727.775952	25.801782	SiO2	1.560326	91.7
4	-216.030845	0.999536			94.2
5	211.040976	39.710297	SiO2	1.560326	100.0
6	-1076.869902	0.999021			98.8
7	112.711195	31.326403	SiO2	1.560326	87.5
8	214.295126	0.999021			82.2
9	66.802488	35.387213	SiO2	1.560326	65.6
10	66.108395	78.774319			54.5
11	-55.465504	9.999279	SiO2	1.560326	46.8
12	-298.251888	8.105868			72.0
13	-253.844073	52.611973	SiO2	1.560326	80.0
14	-100.868104	0.999465			90.1
15	-254.089180	50.743218	SiO2	1.560326	105.4
16	-122.616553	0.999454			113.0
17	-325.389469	35.368071	SiO2	1.560326	127.5
18	-192.299059	0.999384			130.8
19	857.924664	43.506291	SiO2	1.560326	134.2
20	-402.182966	0.999406			133.9
21	176.032352	46.901034	SiO2	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	SiO2	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	SiO2	1.560326	54.3

10

20

30

40

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			

10

20

30

	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	

10

20

30

	偏心	及び傾斜			
面	Δx	Δy	Δz	アルファ	ベータ
23	0	0	0	45	0
29	0	0	0	45	0

40

50

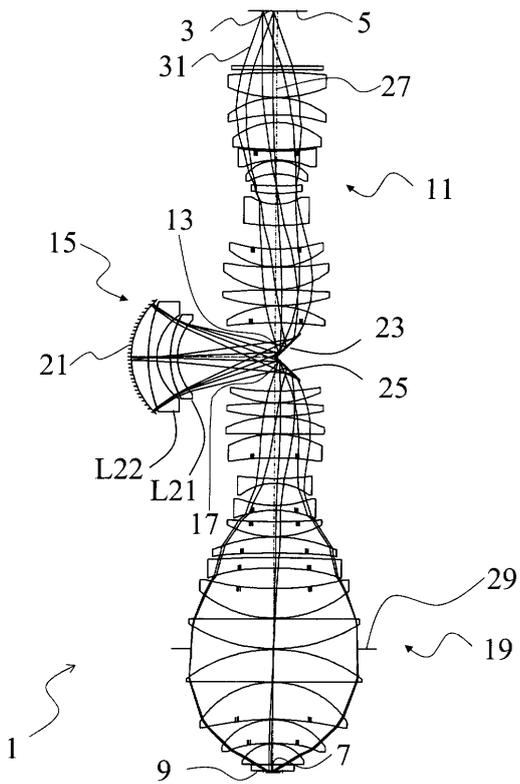
【符号の説明】

【0096】

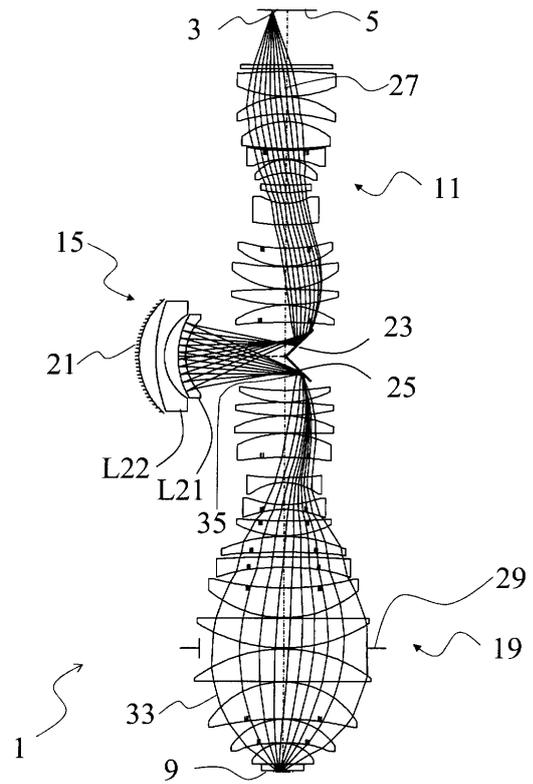
- 1 反射屈折投影対物系
- 3 物体視野
- 5 物体平面
- 7 像視野
- 9 像平面
- 11 第1の部分対物系
- 13 第1の実中間像
- 15 第2の部分対物系
- 17 第2の実中間像
- 19 第3の部分対物系
- 23 第1の折り返しミラー

25 第2の折り返しミラー
L21、L22 レンズ

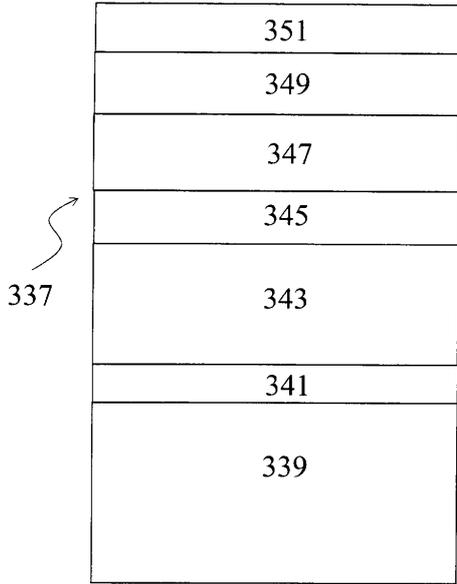
【図1】



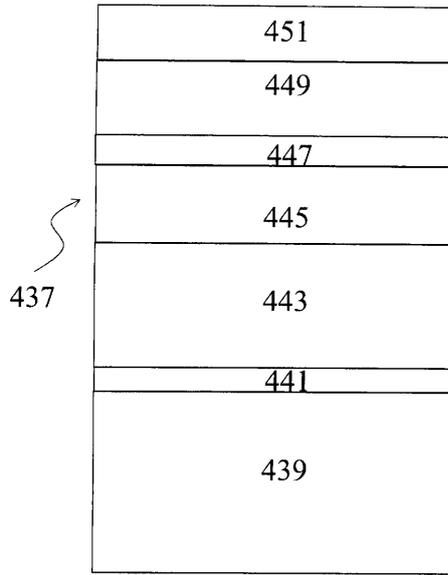
【図2】



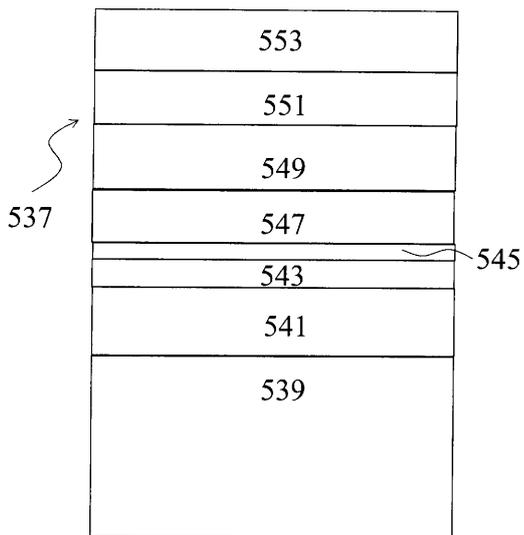
【 図 3 】



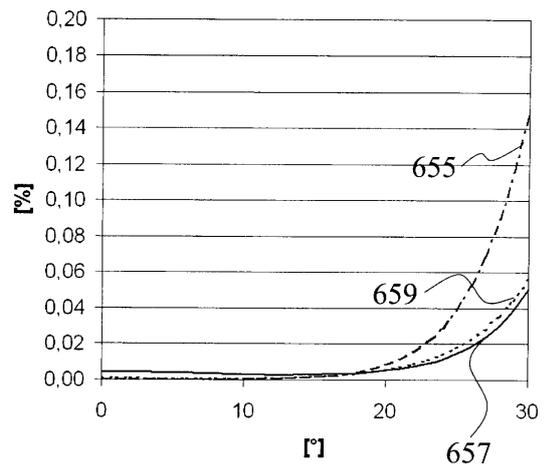
【 図 4 】



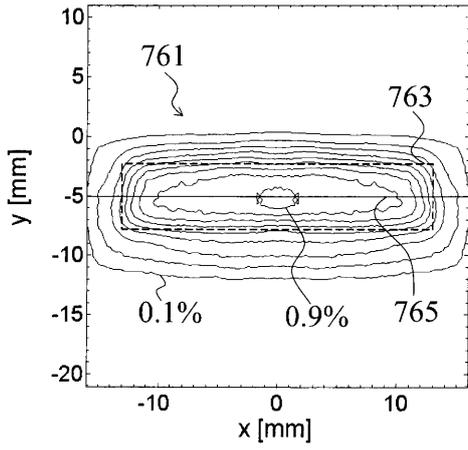
【 図 5 】



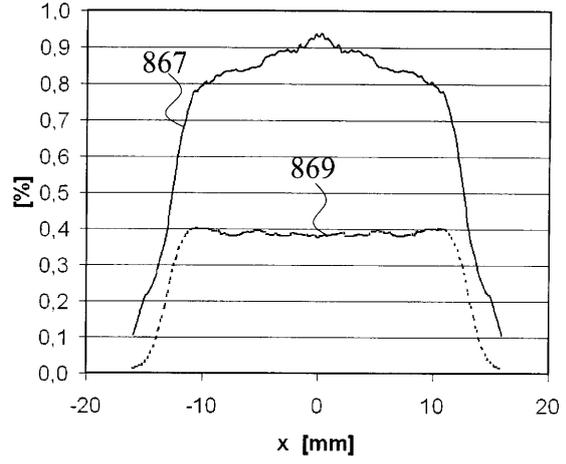
【 図 6 】



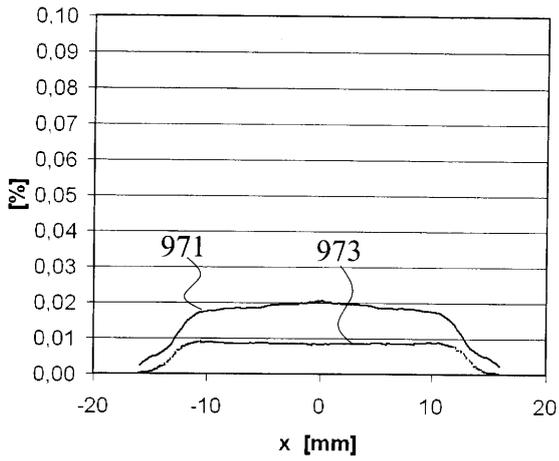
【 図 7 】



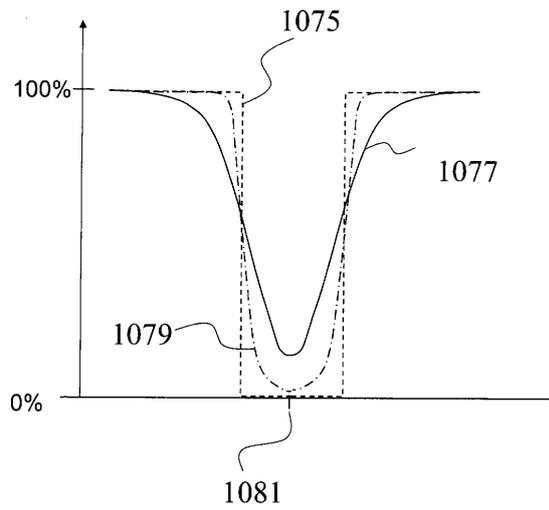
【 図 8 】



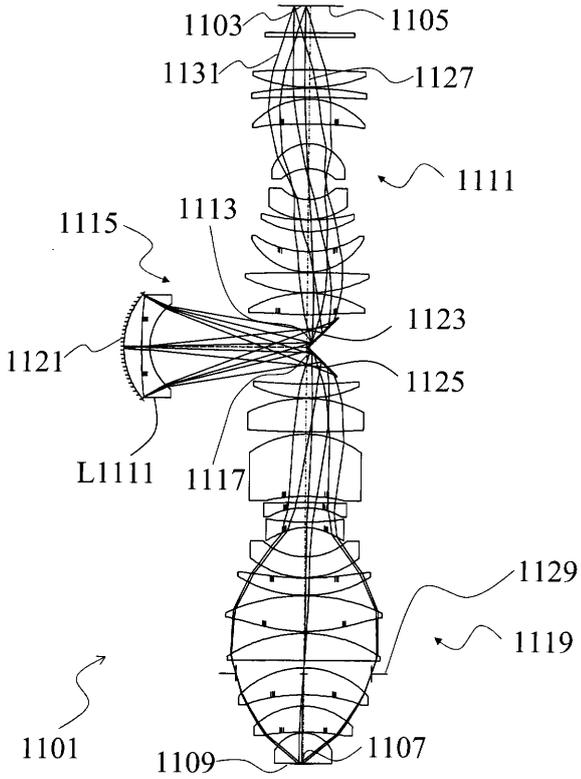
【 図 9 】



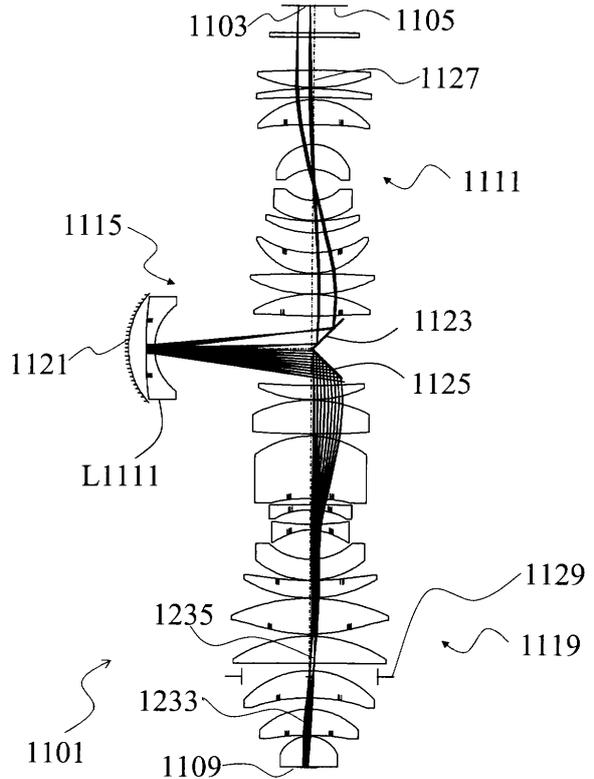
【 図 1 0 】



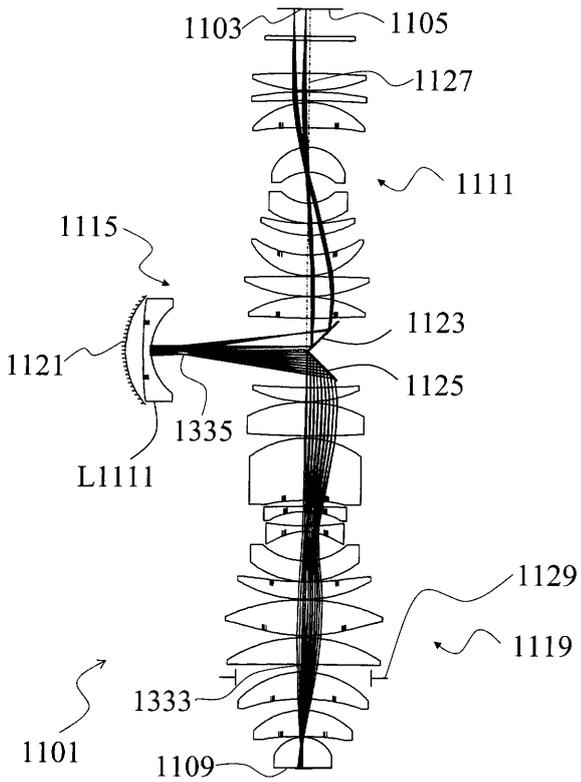
【図 1 1】



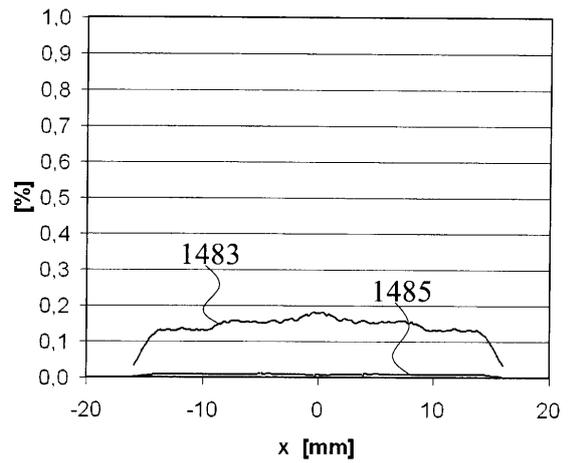
【図 1 2】



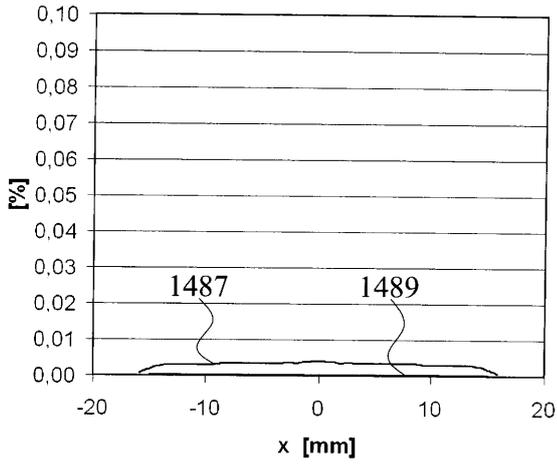
【図 1 3】



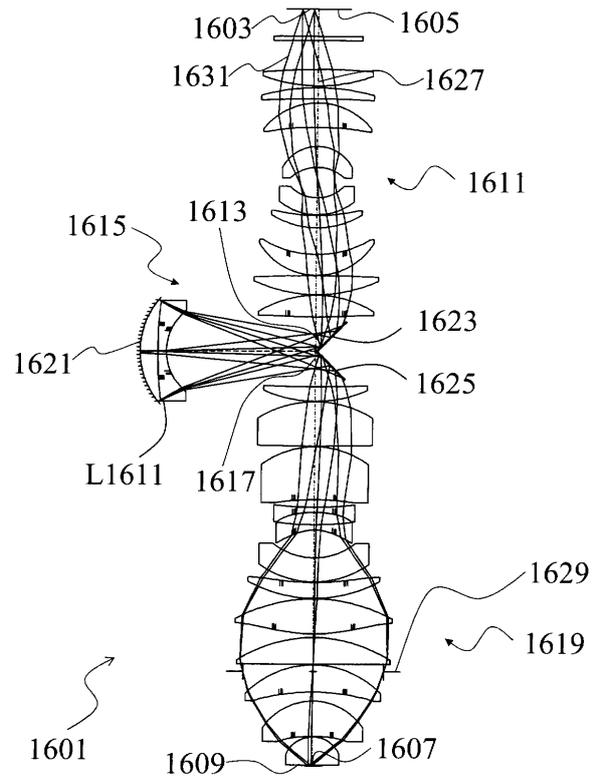
【図 1 4】



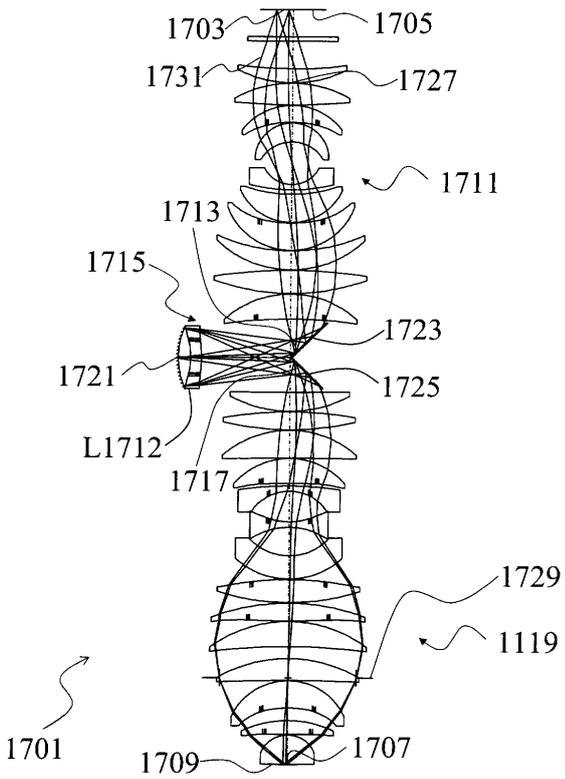
【 図 1 5 】



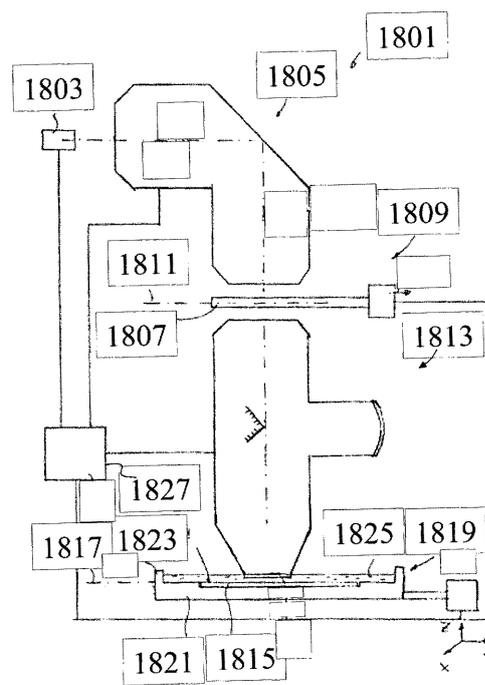
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



【手続補正書】

【提出日】平成22年10月7日(2010.10.7)

【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】

【技術分野】

【0001】

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】

【0002】

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。

【0003】

この種の反射屈折投影対物系は、例えば、US 2009/0034061及びUS 2009/0092925から公知である。

【0004】

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。

【0005】

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、US 2008/0297884 A1から公知である。

【0006】

反射防止コーティングは、US 5,963,365 Aから公知である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】US 2009/0034061

【特許文献2】US 2009/0092925

【特許文献3】US 2009/0092925 A1

【特許文献4】US 2009/0086179 A1

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

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】

【0009】

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。

【0010】

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。

【0011】

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°の間の入射角に対して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°の間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°の間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、同時に0°と20°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°と30°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°と20°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°と10°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、150nmと250nmの間の波長において、0°と30°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°と10°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° から 30° 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° 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° 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° 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° 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應されるので、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 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と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 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 mmと1.2 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 mmと1.2 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 $\tau = 0.2$ と $\tau = 0.3$ 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 mmと1.2 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 $\tau = 0.2$ と $\tau = 0.3$ 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 mmと1.2 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 $\tau = 0.2$ と $\tau = 0.3$ 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 $\tau = 1.0$ に実施され、次に、瞳フィルファクタ $\tau = 0.2$ 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 $\tau = 0.8$ と $\tau = 1.0$ の間、及び $\tau = 0.2$ と $\tau = 0.3$ 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 $\tau = 0.2$ と $\tau = 0.3$ の間の瞳フィルファクタに対する迷光強度と、 $\tau = 0.8$ と $\tau = 1.0$ 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、物体視野内で光軸から最大の距離を有する

物体点から出射する主光線の光軸から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ィール図である。

【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ィール図である。

【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ィールの図である。

【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US2009/0092925A1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、US2009/0092925A1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、US2009/0092925A1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、投影平面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、投影対物系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内に入射した場合と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31と同様に、像平面9に至るまで第3の部分対物系19を通過する。開口絞り29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用いて、投影光31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。

【0045】

上述の結果、レンズL21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L21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L21の後面が0.6°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15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21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17の位置で迷光中間像35が発生し、従って、迷光33が、第2の折り返しミラー25を通じてほぼ完全に伝達される。

【0046】

15.9°の値を有するレンズL21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21に対面するレンズL22の後面の周縁光線同心度は24.0°、レンズL22の前面の周縁光線同心度は22.9°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L21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15のレンズL21及びL22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31が、凹ミラー21に向う光路と凹ミラー21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L21及びL22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25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。

【0047】

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L21及びL22のレンズ面は、193.3nmの投影光波長、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。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。

【0048】

図3は、水晶(SiO₂)で構成されたレンズ基板339から続く反射防止コーティング337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337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(MgF₂)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(LaF₃)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。

【0049】

(表1)

参照記号	厚み [nm]	材料	屈折率
339	基板	SiO ₂	1.56
341	21.568	LaF ₃	1.69
343	67.626	MgF ₂	1.42
345	29.775	LaF ₃	1.69
347	42.969	MgF ₂	1.42
349	34.261	LaF ₃	1.69
351	26.823	MgF ₂	1.42

【0050】

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437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、MgF₂が用いられ、高屈折率を有する材料としては、LaF₃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。

【0051】

(表2)

参照記号	厚み [nm]	材料	屈折率
439	基板	SiO ₂	1.56
441	13.762	LaF ₃	1.69
443	69.414	MgF ₂	1.42
445	42.945	LaF ₃	1.69
447	16.440	MgF ₂	1.42
449	40.914	LaF ₃	1.69
451	30.145	MgF ₂	1.42

【0052】

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537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、 MgF_2 が用いられ、高屈折率を有する材料としては、 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。

【0053】

(表3)

参照記号	厚み [nm]	材料	屈折率
539	基板	SiO_2	1.56
541	37.738	MgF_2	1.42
543	15.378	LaF_3	1.69
545	9.098	MgF_2	1.42
547	29.126	LaF_3	1.69
549	36.117	MgF_2	1.42
551	29.917	LaF_3	1.69
553	33.958	MgF_2	1.42

【0054】

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337、437、及び537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655は、表1による層構成を有する反射防止コーティング337に関する結果であり、実線の反射率曲線657は、表2による層構成を有する反射防止コーティング437に関する結果であり、破線の反射率曲線659は、表3による層構成を有する反射防止コーティング537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655、657、及び659は、0.2%の反射率値を下回り、反射率曲線657及び659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655、657、及び659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655、657及び659は、0.02%の反射率値さえも下回る。

【0055】

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761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15内で2度の通過を受けるレンズL21及びL22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%・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763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L21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。

【 0 0 5 6 】

図 8 は、像視野 7 の中心を通過して像視野 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 . 9 3 % であり、 $x = \pm 1.3 \text{ mm}$ にある像縁部において 0 . 4 1 % 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 . 4 0 % 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 . 5 2 3 % 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。

【 0 0 5 7 】

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 . 9 3 % から 0 . 0 2 % へと低下し、瞳フィルファクタ = 1 . 0 では、0 . 4 0 % から 0 . 0 1 % 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 . 0 1 % 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。

【 0 0 5 8 】

像平面内の迷光を測定するために、特に、US 2 0 0 9 / 0 0 8 6 1 7 9 A 1 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 1 0 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 1 0 7 5 が発生し、この曲線 1 0 7 5 は、小箱の像の領域内で 1 0 0 % から 0 % へと突然降下する。しかし、迷光は、小箱の像の中心 1 0 8 1 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 1 0 7 7 は、第 2 の部分対物系 1 5 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 1 0 7 9 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 1 5 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 1 0 8 1 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。

【 0 0 5 9 】

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 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 L 2 1 及び L 2 2 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。

【 0 0 6 0 】

図 1 1 は、反射屈折投影対物系 1 1 0 1 のレンズ断面を示している。図 1 1 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 1 1 0 0 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。

【 0 0 6 1 】

投影対物系 1 1 0 1 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。

【 0 0 6 2 】

【 数 1 】

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

【 0 0 6 3 】

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_k は、k 次の個々の非球面定数を [1 / m^{2k+2}] で表している。

【 0 0 6 4 】

投影対物系 1 1 0 1 は、像平面 1 1 0 9 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 1 1 0 7 は、26.0 mm × 5.5 mm であり、光軸 1 1 2 7 からの 1.98 mm の最小距離を有する。投影対物系 1 1 0 1 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。

【 0 0 6 5 】

第 1 の部分対物系 1 1 1 1 は、面 1 から 2 0 によって形成され、第 2 の部分対物系 1 1 1 5 は、面 2 2 から 2 6 によって形成され、第 3 の部分対物系 1 1 1 9 は、面 2 8 から 5 2 によって形成される。折り返しミラー 1 1 2 3 及び 1 1 2 5 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 1 1 3 1 を偏向させるだけであるから、面番号 2 1 及び 2 7 を有する折り返しミラー 1 1 2 3 及び 1 1 2 5 は、3 つの部分対物系 1 1 1 1、1 1 1 5、及び 1 1 1 9 のいずれにも割り当てられない。第 1 の部分対物系 1 1 1 1 は、1.05 という結像比の絶対値を有し、第 2 の部分対物系 1 1 1 5 は、1.01 という結像比の絶対値を有し、第 3 の部分対物系 1 1 1 9 は、0.23 という結像比の絶対値を有する。

【 0 0 6 6 】

物体視野 1 1 0 3 から出射し、開口絞り 1 1 2 9 の位置で光軸 1 1 2 7 と交差する全ての主光線は、凹ミラー 1 1 2 1 において、凹ミラー 1 1 2 1 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 1 1 2 1 は、投影対物系 1 1 0 1 の瞳平面の領域に配置される。

【 0 0 6 7 】

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、この平面内ではほぼ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の範囲に適応される。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、 $141.1 \text{ mm} \times 65.4 \text{ mm}$ であるのに対して、第2の折り返しミラー1125は、 $145 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$ 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応された第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1133を示している。迷光路1233から、迷光中間像1235は、第2の折り返しミラー1125上には形成されず、折り返しミラー1125から分離して、開口絞り1129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1125における迷光ビームは、第2の折り返しミラー1125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1105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1129の領域内に強く集束される。

【0071】

図13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の前面において反射された場合に形成される迷光路1333を示している。この場合、レンズL1111の直後に、従って、同じく折り返しミラー1125から分離して迷光中間像1335が形成され、従って、第2の折り返しミラー1125における迷光ビームは、第2の折り返しミラー1125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L1111の前面及び後面が、周縁光線同心から 20° よりも大きくずれることにより、像平面909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1115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、0.13% から 0.01% 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 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 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 1 6 は、反射屈折投影対物系 1 6 0 1 のレンズ断面を示している。図 1 6 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 1 6 0 0 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 1 6 0 1 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 1 6 0 1 は、像平面 1 6 0 9 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 1 6 0 7 は、26.0 mm × 5.5 mm であり、光軸 1 6 2 7 からの 1.98 mm の最小距離を有する。投影対物系 1 6 0 1 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 1 6 1 1 は、面 1 から 2 0 によって形成され、第 2 の部分対物系 1 6 1 5 は、面 2 2 から 2 6 によって形成され、第 3 の部分対物系 1 6 1 9 は、面 2 8 から 5 2 によって形成される。第 1 の部分対物系 1 6 1 1 は、1.03 という結像比の絶対値を有し、第 2 の部分対物系 1 6 1 5 は、1.01 という結像比の絶対値を有し、第 3 の部分対物系 1 6 1 9 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 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 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 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 mm である。第 1 の近軸中間像は、凹ミラー 1621 から 300.48 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 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° の周縁光線同心度を有し、前面は、 30.2° 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 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 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 67.77 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 1.27 mm の半径方向距離しか持たない。この場合、物体点 ($x = 52 \text{ m}$

m, $y = 29.93 \text{ mm}$) 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 L 1712 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 L 1712 と凹ミラー 1721 の間の距離は 33.4 mm である。第 1 の近軸中間像は、凹ミラー 1721 から 188.92 mm の距離を有し、第 2 の近軸中間像は、凹ミラー 1721 から 189.59 mm の距離を有する。従って、レンズ L 1712 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 L 1712 の凹ミラー 1721 に対面するレンズ面、すなわち、レンズ L 1712 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 L 111、及び投影対物系 1601 におけるレンズ L 1611 と比較すると、レンズ L 1712 のレンズ屈曲は、レンズ L 1111 又は L 1611 のものと反対である。レンズ L 1111 又は L 1611 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 L 1712 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 L 1712 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 193 nm 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、157 nm 又は 248 nm 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 の要件に適応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 1809 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。

【0091】

光方向に照明系 1805 の下流には、レチクル 1807 を保持して操作するためのデバイス 1809 が配置される。マスクとも呼ぶレチクル 1807 は、結像される構造を有する。デバイス 1809 を用いると、走査目的でレチクル 1807 を物体平面 1811 内で走査方向に移動させることができる。

【0092】

投影対物系 1813 は、図 1、図 11、図 16、及び図 17 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 1813 は、レチクル 1807 の照明系 1805 によって照明される部分をウェーハ 1815 上に縮小方式で結像する。ウェーハ 1815 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。

【0093】

ウェーハ 1815 は、レチクルの走査移動と同期化されたウェーハ 1815 の平行移動を可能にするデバイス 1819 によって保持される。また、デバイス 1819 は、投影対物系 1813 の像平面 1817 内にウェーハ 1815 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 1819 は、投影対物系の液浸使用に向けて設計される。デバイス 1819 は、ウェーハ 1815 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 1821 を有する。保持ユニット 1821 は、液浸媒体 1825 が流れ出すのを防止する周縁 1823 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 9 0 3 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	Δx	Δy	Δz	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 ₂	1.560326	75.8
2	0.000000	52.869064			77.4
3	1151.891547	30.208455	SiO ₂	1.560326	95.4
4	-297.772920	3.256949			97.0
5	392.306364	20.384062	SiO ₂	1.560326	99.2
6	2065.429234	7.942304			98.7
7	127.761865	45.517258	SiO ₂	1.560326	96.0
8	969.751914	34.534602			92.1
9	72.468670	38.613055	SiO ₂	1.560326	62.1
10	73.543725	56.553595			46.3
11	-68.108298	31.573318	SiO ₂	1.560326	46.0
12	-109.674176	0.999866			65.2
13	-328.152276	23.012797	SiO ₂	1.560326	74.4
14	-156.396340	49.715086			79.2
15	-201.140848	38.713984	SiO ₂	1.560326	98.1
16	-122.640971	0.999882			103.2
17	2881.906041	35.379085	SiO ₂	1.560326	109.1
18	-269.889474	0.999898			109.8
19	201.477991	40.395129	SiO ₂	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 ₂	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 ₂	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 ₂	1.560326	89.0
29	233.589947	-0.999701			91.7
30	-199.473771	-82.749765	SiO ₂	1.560326	101.9
31	3119.046646	-0.999910			98.4
32	-163.659814	-97.677532	SiO ₂	1.560326	94.7
33	-539.497284	-13.721631			71.9
34	641.496250	-9.999860	SiO ₂	1.560326	70.4
35	-263.409377	-22.259722			65.3
36	545.844495	-9.999869	SiO ₂	1.560326	65.6
37	-150.000000	-51.094164			69.1
38	122.880466	-44.260917	SiO ₂	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	Δx	Δy	Δz	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	SiO2	1.560326	75.8
2	0.000000	50.933772			77.4
3	-727.775952	25.801782	SiO2	1.560326	91.7
4	-216.030845	0.999536			94.2
5	211.040976	39.710297	SiO2	1.560326	100.0
6	-1076.869902	0.999021			98.8
7	112.711195	31.326403	SiO2	1.560326	87.5
8	214.295126	0.999021			82.2
9	66.802488	35.387213	SiO2	1.560326	65.6
10	66.108395	78.774319			54.5
11	-55.465504	9.999279	SiO2	1.560326	46.8
12	-298.251888	8.105868			72.0
13	-253.844073	52.611973	SiO2	1.560326	80.0
14	-100.868104	0.999465			90.1
15	-254.089180	50.743218	SiO2	1.560326	105.4
16	-122.616553	0.999454			113.0
17	-325.389469	35.368071	SiO2	1.560326	127.5
18	-192.299059	0.999384			130.8
19	857.924664	43.506291	SiO2	1.560326	134.2
20	-402.182966	0.999406			133.9
21	176.032352	46.901034	SiO2	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	SiO2	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	SiO2	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	Δx	Δy	Δz	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 (1 3 , 1 1 1 3 , 1 6 1 3 , 1 7 1 3) 上に結像するための第 1 の部分対物系 (1 1 , 1 1 1 1 , 1 6 1 1 , 1 7 1 1) と、

前記第 1 の中間像を第 2 の実中間像 (1 7 , 1 1 1 7 , 1 6 1 7 , 1 7 1 7) 上に結像するための第 2 の部分対物系 (1 5 , 1 1 1 5 , 1 6 1 5 , 1 7 1 5) 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 (1 9 , 1 1 1 9 , 1 6 1 9 , 1 7 1 9) 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 (2 1 , 1 1 2 1 , 1 6 2 1 , 1 7 2 1) を有し、かつ少なくとも 1 つのレンズ (L 2 1 , L 2 2 , L 1 1 1 1 , L 1 6 1 1 , L 1 7 1 2) 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 (2 3 , 1 1 2 3 , 1 6 2 3 , 1 7 2 3)、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 (2 5 , 1 1 2 5 , 1 6 2 5 , 1 7 2 5) が設けられた、

物体平面 (5 , 1 1 0 5 , 1 6 0 5 , 1 7 0 5) 内の物体視野 (3 , 1 1 0 3 , 1 6 0 3 , 1 7 0 3) を像平面 (9 , 1 1 0 9 , 1 6 0 9 , 1 7 0 9) 内の像視野 (7 , 1 1 0 7 , 1 6 0 7 , 1 7 0 7) 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 (1 , 1 1 0 1 , 1 6 0 1 , 1 7 0 1) であって、

第 2 の部分対物系のレンズ (L 2 1 , L 2 2 , L 1 1 1 1 , L 1 6 1 1 , L 1 7 1 2) 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 (3 3 7 , 4 3 7 , 5 3 7) 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 (3 3 7 , 4 3 7 , 5 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少なくとも 6 つの層 (3 3 9 , 3 4 1 , 3 4 3 , 3 4 5 , 3 4 7 , 3 4 9 , 3 5 1 ; 4 3 9 , 4 4 1 , 4 4 3 , 4 4 5 , 4 4 7 , 4 4 9 , 4 5 1 ; 5 3 9 , 5 4 1 , 5 4 3 , 5 4 5 , 5 4 7 , 5 4 9 , 5 5 1 , 5 5 3) 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(1113, 1613, 1713)上に結像するための第1の部分対物系(1111, 1611, 1711)と、

前記第1の中間像を第2の実中間像(1117, 1617, 1717)上に結像するための第2の部分対物系(1115, 1615, 1715)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(1119, 1619, 1719)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(1121, 1621, 1721)、及び少なくとも1つのレンズ(L1111, L1611, L1712)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(1123, 1623, 1723)、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(1125, 1625, 1725)が設けられた、

物体平面(1105, 1605, 1705)内の物体視野(1103, 1603, 1703)を像平面(1109, 1609, 1709)内の像視野(1107, 1607, 1707)上に結像するためのマイクロソグラフィのための反射屈折投影対物系(1101, 1601, 1701)であって、

第2の部分対物系(1115, 1615, 1715)のレンズ(L1111, L1611, L1712)の全ての面が、周縁光線同心からのずれが20°よりも大きいか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°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(L1111, L1611, L1712)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(L1611, L1712)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(15, 1115, 1615, 1715)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(21, 1121, 1621, 1721)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(17, 1117, 1617, 1717)は、前記第2の折り返しミラー(25, 1125, 1625, 1725)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の該光軸から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（1801）であって、

照明系（1805）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（1813）と、

を含むことを特徴とする投影露光装置。

フロントページの続き

- (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 100151987
弁理士 谷口 信行
- (72)発明者 ウラジミール カメノフ
ドイツ連邦共和国 7 3 4 5 7 エッシンゲン シュタウフェンシュトラッセ 3
- (72)発明者 アレクサンダー エッペル
ドイツ連邦共和国 7 3 4 3 1 アーレン ランガートシュトラッセ 3 8
- (72)発明者 トラルフ グルナー
ドイツ連邦共和国 7 3 4 3 3 アーレン - ホッフエン オパルシュトラッセ 2 2
- (72)発明者 トーマス シッケタンツ
ドイツ連邦共和国 7 3 4 3 1 アーレン ヤーンシュトラッセ 1 3
- Fターム(参考) 2H087 KA21 LA27 NA04 NA18 RA42 TA01 TA03 UA03 UA09
2K009 AA02 AA09 BB01 CC03 CC06
5F046 BA03 CB02 CB12 CB25 CB27 DA01

【 外国語明細書 】

Description:

Catadioptric projection objective

The invention relates to a catadioptric projection objective for imaging an object field in an object plane onto an image field in an image plane comprising three partial objectives, to a projection exposure apparatus for microlithography comprising such a projection objective and also to a method for producing semiconductor components and other finely structured components by means of such a projection exposure apparatus.

The object field is imaged onto a first real intermediate image by means of the first partial objective of the catadioptric projection objective, the first intermediate image is imaged onto a second real intermediate image by means of the second partial objective, and the second intermediate image is finally imaged onto the image field in the image plane by means of the third partial objective. In this case, the second partial objective is a catadioptric objective having exactly one concave mirror. Moreover, the catadioptric projection objective has two folding mirrors, wherein the first folding mirror deflects the projection light coming from the object plane in the direction of the concave mirror of the second partial objective and the second folding mirror deflects the projection light coming from the concave mirror of the second partial objective in the direction of the image plane.

Catadioptric projection objectives of this type are known for example from US 2009/0034061 and from US 2009/0092925.

At the lens surfaces of the lenses of the catadioptric projection objective, a specific proportion of the light is reflected on account of the difference in refractive index between air, or the gas filling, and the lens material. Although this reflection can be reduced by antireflection coatings, it cannot be completely prevented. If the projection light reflected at lens surfaces can pass into the image plane, this so-called stray light leads to a background illumination that reduces the contrast of the actual image.

It is an object of the invention, then, to reduce the stray light in such projection objectives.

This involves investigating the question of on which light paths in this class of projection objectives light can pass into the image plane. A light path is understood to mean the sequence of optical surfaces which the light passes through on the way from the object plane to the image plane. In this case, a distinction is made between the projection light path, along which the projection light is intended to pass through the optical surfaces of lenses or mirrors in accordance with the optical design of the catadioptric projection objective, and one or more stray light paths, along which the stray light passes into the image plane. In the case of a stray light path, the stray light is reflected instead of transmitted at at least one lens surface and thus leaves the projection light path. For determining the stray light paths, each lens surface is regarded both as a transmissive surface and as a reflective surface, wherein the reflectance of the lens surface governs the probability with which a light beam is transmitted or reflected. From an alternative standpoint, the light beam can be split into a transmitted and a reflected light beam, the reflectance determining the intensities of the two beams. Depending on how often the stray light is reflected at lens surfaces within the projection objective, a distinction is made between single reflections, double reflections, or even higher-order reflections. Since the intensity of the reflections is dependent on the product of the reflectivities, single reflections with just one reflection lead to a comparatively high stray light intensity. Therefore, each single reflection has to be investigated with regard to whether it can be afforded tolerance or whether corresponding measures for reducing the stray light intensity on account of the single reflection are necessary.

By virtue of the second partial objective has exactly one concave mirror and by virtue of the fact that the projection light is deflected toward this concave mirror by the first folding mirror and, after reflection at the concave mirror, is deflected toward the image plane by the second folding mirror, the lenses of the second partial objective between the folding mirrors and the concave mirror are passed through twice. The projection light therefore passes through such a lens that is passed through twice a first time on the way to the concave mirror and a second time after reflection at the concave mirror. The lens surfaces of such lenses that are passed through twice can bring about single reflections by virtue of the projection light being reflected instead of transmitted at one of said lens surfaces. In this case, a stray light path can form by virtue of the optical surfaces being skipped which the projection light would actually pass through on the way toward the concave mirror and back again. Under certain circumstances, the stray light

path can reach as far as the image plane. The stray light then passes through all those optical surfaces which the projection light would also pass through after reflection at the concave mirror starting from the reflective lens surface. The lenses of the second partial objective which are passed through twice are therefore particularly prone to generating stray light in the image plane on account of single reflections.

In one embodiment of the invention therefore, at least one surface of a lens of the second partial objective is covered with an antireflection coating having a reflectivity of less than 0.2% for an operating wavelength of between 150nm and 250nm and for an angle-of-incidence range of between 0° and 30°. An antireflection coating is understood to mean a coating which is designed in such a way that the reflection loss on account of the sudden change in refractive index when the light enters the lens is reduced. In this case, the antireflection coatings provided here are specified firstly by an operating wavelength and secondly by an angle-of-incidence range. The operating wavelength is understood to mean the wavelength of the projection light at which the projection objective is subsequently operated. This is typically a wavelength in the DUV or VUV wavelength range between 150nm and 250nm, that is to say for example 248nm, 193nm or 157nm. An angle of incidence is understood to mean the angle of a ray of light with respect to the surface normal at the point where the ray of light impinges on the lens surface. In general, many rays impinge on a point of the lens surface with different angles of incidence, such that an antireflection coating has to be optimized not only for one angle of incidence, but for an entire angle-of-incidence range. In this case, it is not possible to produce an antireflection coating which completely prevents reflection at the lens surface; said reflection can only be reduced. In this case, the degree of complexity of the antireflection coating increases with the degree of reduction of the residual reflection for a predetermined angle-of-incidence range. In general, it suffices to design antireflection coatings for reducing the stray light effects as a result of double or multiple reflections since double and multiple reflections predominate in projection objectives without lenses that are passed through twice. A reflectivity of the antireflection coating within the angle-of-incidence range of for example greater than 0.2% is sufficient for reducing double and multiple reflections in a manner that can be afforded tolerance. Further reduction of the reflectivity would make the antireflection coating unnecessarily complex. If, by contrast, a stray light path which ends within the image field already arises for a single reflection, then a reflectivity of the antireflection coating within the

angle-of-incidence range of greater than 0.2% can lead to stray light that cannot be afforded tolerance. Precisely this risk is manifested, however, in the case of the lenses of the second partial objective which are passed through twice. These lens surfaces are therefore covered with an antireflection coating having a reflectivity of less than 0.2% for the angle-of-incidence range of 0° to 30° that is relevant to these lenses.

In a further embodiment of the invention, the antireflection coating has a reflectivity of less than 0.1% for a wavelength of between 150 nm and 250 nm and for an angle-of-incidence range of between 0° and 30°.

Since, for rays having small angles of incidence in the range of 0° to 20°, that is to say rays near to the optical axis, the probability of nevertheless passing into the image plane after reflection at a lens surface and contributing to the background illumination is particularly high, in a further embodiment of the invention, the lens surfaces of the lenses of the second partial objective which are passed through twice are covered with an antireflection coating having a reflectivity of less than 0.1% for an angle-of-incidence range of 0° to 20° and for a wavelength of between 150 nm and 250 nm.

In a further embodiment of the invention, the antireflection coating has a reflectivity of less than 0.05% for a wavelength of between 150 nm and 250 nm and for an angle-of-incidence range of between 0° and 20°.

In a further embodiment of the invention, the antireflection coating has a reflectivity of less than 0.02% for a wavelength of between 150 nm and 250 nm and for an angle-of-incidence range of between 0° and 10°.

In a further embodiment of the invention, the antireflection coating has a reflectivity of less than 0.2% for a wavelength of between 150 nm and 250 nm and for an angle-of-incidence range of between 0° and 30° and simultaneously a reflectivity of less than 0.1% for an angle-of-incidence range of between 0° and 20°.

In a further embodiment of the invention, the antireflection coating has a reflectivity of less

than 0.2% for a wavelength of between 150 nm and 250 nm and for an angle-of-incidence range of between 0° and 30°, a reflectivity of less than 0.1% for an angle of incidence range of between 0° and 20° and simultaneously a reflectivity of less than 0.02% for an angle-of-incidence range of between 0° and 10°.

The complexity of an antireflection coating is manifested, inter alia, in the number of employed layers from which the antireflection coating is constructed. In one embodiment of the invention, the antireflection coating comprises six layers composed alternately of material having a high refractive index and material having a low refractive index. In this case, a material is designated as having a high refractive index when it has, for the operating wavelength, a higher refractive index than the refractive index of the material having a low refractive index.

In a further embodiment of the invention, the antireflection coating comprises seven layers composed alternately of material having a high refractive index and material having a low refractive index.

Owing to the use of at least six layers composed alternately of material having a high refractive index and material having a low refractive index, it is possible to ensure a reflectivity of less than 0.2% over the angle-of-incidence range of 0° to 30°.

In one embodiment of the invention, the employed material having a low refractive index is a dielectric material selected from a group consisting of magnesium fluoride, aluminum fluoride, sodium fluoride, lithium fluoride, calcium fluoride, barium fluoride, strontium fluoride, cryolite, chiolite, and combinations thereof.

In one embodiment of the invention, the employed material having a high refractive index is a dielectric material selected from a group consisting of neodymium fluoride, lanthanum fluoride, gadolinium fluoride, dysprosium fluoride, aluminum oxide, lead fluoride, yttrium fluoride, and combinations thereof.

For the arising of single reflections on account of the reflection at surfaces of the second partial objective, consideration should be given particularly to those surfaces which have a deviation

of the marginal ray concentricity of less than 20° . Marginal ray concentricity is understood to mean the state in which a marginal ray is reflected back on itself on a lens surface. That is to say that the marginal ray has an angle of incidence of 0° at the lens surface. In this case, the marginal ray employed is a fictitious ray which emerges in the object plane from the optical axis and just passes through the aperture stop of the projection objective, that is to say has in the image plane an angle of incidence corresponding to the maximum numerical aperture. It is a fictitious marginal ray because this class of projection objectives has an off-axis object field, that is to say that the optical axis of the projection objective does not intersect the object plane within the objective field. This fictitious marginal ray can nevertheless be traced mathematically since, for the ray tracing, the physical boundary of mirrors or lenses or the vignetting by other optical elements is unimportant, rather the marginal ray is traced along the projection light path. What, then, is the relationship between the marginal ray concentricity of a lens surface and the production of a single reflection? In the case of ideal imaging, the marginal ray emerging from the object plane intersects the optical axis in the following image planes, that is to say, in the case of this class of projection objectives, in the plane of the first intermediate image, in the plane of the second intermediate image and in the image plane. If marginal ray concentricity then exists for a lens surface in the second partial objective, the marginal ray is reflected back on itself and thus intersects the optical axis again at the same location from which the marginal ray emerged. A so-called stray light intermediate image plane thus arises, which coincides with the first intermediate image plane. Since the first intermediate image is an off-axis intermediate image, the first intermediate image and the stray light intermediate image are situated on opposite sides of the optical axis. The stray light intermediate image is thus located within the projection light path from the concave mirror to the image plane, such that it is possible for the stray light to pass into the image plane in a manner following the projection light path. If the second partial objective is a 1:1 objective, moreover, then the first and second intermediate image planes and thus also the stray light intermediate image plane coincide. The stray light intermediate image is consequently generated at the location of the second intermediate image and ultimately imaged into the image plane by the third partial objective like the second intermediate image. A continuous stray light path right into the image plane arises on account of a single reflection. Lens surfaces for which marginal ray concentricity exists or for which the deviation from the marginal ray concentricity is less than 20° are therefore particularly critical for the production of single

reflexes and should therefore be provided with the improved antireflection coating.

In addition to the improved antireflection coating of surfaces which are susceptible to single reflections, the reduction of the single reflections can already be taken into account when devising the optical design of the projection objective. Thus, in one embodiment of the invention, all the surfaces of the lenses of the second partial objective are configured in such a way that their deviation from the marginal ray concentricity is greater than or equal to 20° . As a result, the stray light intermediate image is not generated at the location of the second intermediate image and consequently, unlike the latter, is not imaged into the image plane by the third partial objective. Stray light and projection light have different beam extents particularly in the region of the second folding mirror. Since the extent of the second folding mirror is adapted to the extent of the projection light beam, the stray light beam is vignetted by the physical boundary of the second folding mirror and, as a result, does not reach the image plane, or reaches the latter only with a greatly reduced intensity.

For correction of the image field curvature and for chromatic correction, the second partial objective can have a plurality of lenses. These lenses which are passed through twice can have surfaces which lead to single reflections. In one embodiment of the invention, the second partial objective has exactly one lens. This reduces the number of surfaces to two surfaces at which single reflections can arise.

In order, however, that the imaging quality of the projection objective is not impaired owing to the reduction of the number of lenses in the second partial objective, in one embodiment of the invention, this lens is embodied as a biaspherical lens. In other words, this lens has an aspherical surface formed both on the front surface and on the back surface. Further degrees of freedom are thereby obtained for ensuring the required imaging quality.

What can be achieved by means of the targeted configuration of the lens surfaces of the lenses of the second partial objective for avoiding single reflections, by means of the covering of lens surfaces that are critical for single reflections with improved antireflection coatings, or by means of the combined application of these two measures, is that the background illumination in the image plane owing to stray light is significantly reduced overall. In order to quantify the

influence of the lens surfaces of the second partial objective on the stray light and the reduction thereof by the measures proposed, the stray light is measured for example by a non-luminous object being arranged within the homogeneously illuminated object field and being imaged into the image plane. In this case, the object is square, for example, and can have different edge lengths. The object is for example a small box that absorbs the projection light. Without stray light, the object would be sharply imaged into the image plane, such that the intensity within the image of the object is 0% of the maximum value of the ambient illumination. With stray light, however, the image of the object is not dark. The stray light intensity distribution can be determined from the intensity in the center of the image of the object, taking account of the extent of the object.

The intensity of the stray light in the center of the image of the object varies depending on the illumination of the object and the origin of the stray light. The illumination of the object can be characterized by the pupil filling factor σ , inter alia. In the case of a pupil filling factor of $\sigma = 0.2$, the entrance pupil of the projection objective is illuminated only to a radius of 20% of the maximum pupil radius. Consequently, the object is only illuminated by rays which have relatively small angles with respect to the optical axis. In the case of a pupil filling factor of $\sigma = 1.0$, by contrast, the entrance pupil of the projection objective is fully illuminated, such that the object is illuminated by rays which assume the maximum possible values in the object plane. If the object is illuminated with a small pupil filling factor, then the contribution of the stray light on account of single reflections is greater than in the case of illumination with a large pupil filling factor, since, for rays, having large angles with respect to the optical axis, there is a greater probability of not passing right into the image plane after reflection at a lens surface, but rather of being vignetted, for example at a lens mount. The stray light measurement is therefore carried out for example for a pupil filling factor of $\sigma = 0.2$. If the illumination system of the projection exposure apparatus does not provide this filling factor, then a pupil filling factor of between $\sigma = 0.2$ and $\sigma = 0.3$ is used for the stray light measurement.

In addition to the single reflections caused by the lens surfaces of the second partial objective there are also further causes of stray light within the image field in the image plane. Double reflections, on account of the double reflection at lens surfaces, have a negligible intensity in comparison with single reflections. The stray light owing to surface or volume scattering can be

distinguished from stray light on account of single reflections by choosing the edge length of the object to be large enough, for example 1.0 mm. The intensity of the stray light owing to surface or volume scattering in the center of the image of the object is then at least 70% lower in comparison with the intensity of the stray light on account of the single reflections. If the edge length were increased further, then although the separation of stray light owing to surface or volume scattering of stray light on account of single reflections would be better, the measurement signal for stray light on account of single reflections would then also decrease. If an object having an edge length of 1.0 mm is not available, then the measurement can also be carried out for an edge length of between 0.8 mm and 1.2 mm. Upon application of the proposed measures for reducing the single reflections on the lens surfaces of the second partial objective, the stray light intensity in the center of the image of the object is less than 1.1% in the stray light measurement with a square object having the edge length of between 0.8 mm and 1.2 mm and in the case of a pupil filling factor of between $\sigma = 0.2$ and $\sigma = 0.3$.

In one embodiment, the stray light intensity in the center of the image of the object is less than 0.9% in the stray light measurement with a square object having the edge length of between 0.8 mm and 1.2 mm and in the case of a pupil filling factor of between $\sigma = 0.2$ and $\sigma = 0.3$.

In a further embodiment, the stray light intensity in the center of the image of the object is less than 0.5% in the stray light measurement with a square object having the edge length of between 0.8 mm and 1.2 mm and in the case of a pupil filling factor of between $\sigma = 0.2$ and $\sigma = 0.3$.

The contribution of the lens surfaces of the second partial objective to the stray light can also be determined by measuring the stray light in the image plane within the image field for two different pupil filling factors and by determining the variation of the stray light, since the formation of the single reflections is greatly dependent on the pupil filling factor. Other causes of the stray light in the image plane such as, for example, surface or volume scattering exhibit, by contrast, a low dependence on the pupil filling factor and lead to an almost illumination-independent background illumination in comparison with single reflections. The stray light measurement is therefore carried out, for example, firstly by a pupil filling factor of $\sigma = 1.0$ and secondly for a pupil filling factor of $\sigma = 0.2$. If the illumination system of the

projection exposure apparatus does not provide these filling factors, then a pupil filling factor of between $\sigma = 0.8$ and $\sigma = 1.0$ and, respectively, between $\sigma = 0.2$ and $\sigma = 0.3$ is used for the stray light measurement. If the proposed measures for reducing the single reflections are applied to the lens surfaces of the second partial objective, then the maximum difference between the stray light intensity for a pupil filling factor of between $\sigma = 0.2$ and $\sigma = 0.3$ and the stray light intensity for a pupil filling factor of between $\sigma = 0.8$ and $\sigma = 1.0$ for an image point within the image field is less than 0.3%.

In one embodiment of the invention, the second partial objective has an absolute value of the imaging scale of between 0.8 and 1.25. The second partial objective thus images the first intermediate image substantially 1:1 onto the second intermediate image.

In one embodiment of the invention the concave mirror of the second partial objective is arranged in the region of a pupil plane, the position of which results from the point of intersection of a paraxial principal ray with the optical axis of the projection objective. In this case, the concave mirror is arranged in the region of a pupil plane when the maximum height of all the principal rays emerging from the image field at the concave mirror is less than 20% of the diameter of the optically utilized region of the concave mirror.

If the second partial objective has, on the one hand, an absolute value of the imaging scale of between 0.8 and 1.25 and, on the other hand, a concave mirror in the region of the pupil plane, then a substantially symmetrical construction results for the second partial objective in relation to the concave mirror. If a lens surface at the second partial objective then has no or only a small deviation from the marginal ray concentricity, the stray light reflected at said lens surface generates a stray light intermediate image which coincides at least approximately with the second intermediate image and is thus imaged into the image plane by the third partial objective. This construction of the second partial objective which admittedly is favorable for the correction of the image field curvature and of chromatic aberrations, can lead, however, to single reflections that cannot be afforded tolerance. The latter can then be reduced by the targeted deviation from the marginal ray concentricity at the lens surfaces or a covering of the lens surfaces with the improved antireflection coating.

In one embodiment of the invention, the second intermediate image is arranged in the region of the second folding mirror. In this case, the second intermediate image is arranged in the region of the second folding mirror when, in a fictitious plane which is arranged perpendicular to the optical axis and which has the same point of intersection with the optical axis as the second folding mirror, half the radial distance from the optical axis of that principal ray which emerges from an object point within the object field with maximum distance from the optical axis is greater than the radial distance of the marginal ray. The marginal ray already defined for determining the marginal ray concentricity is used in this case. As soon as a stray light intermediate image is not situated on the second intermediate image in this case, the stray light beam is vignetted by the physical boundary of the second folding mirror and the stray light intensity of this single reflection is reduced.

In one embodiment of the invention all the lenses in the second partial objective are arranged nearer to the concave mirror than to the first intermediate image or than to the second intermediate image. Since the lenses of the second partial objective are extended along the optical axis, for determining the lens distance the midpoint between the two lens vertices is determined and the distance is measured from the midpoint. In this case, the position of the two intermediate images results from the paraxial position of the intermediate images. By virtue of the lenses of the second partial objective being arranged nearer to the concave mirror than to the intermediate images, they are also further away from the second folding mirror. The greater the distance of the lens surfaces with respect to the second folding mirror, however, the greater than vignetting effect of the second folding mirror on account of the physical barrier thereof if the stray light intermediate image does not ideally coincide with the second intermediate image.

In one embodiment of the invention, the catadioptric projection objective is part of a projection exposure apparatus for microlithography having, besides the projection objective, additionally an illumination system for illuminating the object field in the object plane.

In order to produce semiconductor components and other finely structured components by means of the projection exposure apparatus, provision is made of a reticle having a predetermined pattern in the object plane of the catadioptric projection objective and a wafer having a light-sensitive layer in the image plane of the catadioptric projection objective, the

reticle is illuminated by means of the illumination system and, finally, the illuminated region of the reticle is imaged onto the wafer by means of the catadioptric projection objective.

Details of the invention are explained more thoroughly below on the basis of the exemplary embodiments illustrated in the figures, in which specifically:

figure 1 shows the lens section of a catadioptric projection objective together with the projection light path;

figure 2 shows the lens section of the projection objective from figure 1 together with a stray light path;

figure 3 shows a schematic illustration of an antireflection coating;

figure 4 shows a schematic illustration of an antireflection coating;

figure 5 shows a schematic illustration of an antireflection coating;

figure 6 shows a diagram with the reflectivity values of the antireflection coatings from figures 3 to 5 as a function of the angles of incidence;

figure 7 shows a stray light intensity distribution as a contour line illustration for the pupil filling factor $\sigma = 0.2$;

figure 8 shows stray light intensity profiles in the case of antireflection coating of the lenses that are passed through twice in the projection objective from figure 1 with a reflectivity of 0.2%;

figure 9 shows stray light intensity profiles in the case of an antireflection coating in accordance with figure 4 of the lenses that are passed through twice in the projection objective from figure 1;

figure 10 shows a schematic illustration for illustrating the stray light measurement technique;

figure 11 shows the lens section of a catadioptric projection objective together with the projection light beam path;

figure 12 shows the lens section of the projection objective from figure 11 with a stray light path;

figure 13 shows the lens section of the projection objective from figure 11 with a stray light path;

figure 14 shows stray light intensity profiles in the case of antireflection coating of the lenses that are passed through twice in the projection objective from figure 11 with a reflectivity of 0.2%;

figure 15 shows stray light intensity profiles in the case of an antireflection coating in

accordance with figure 4 of the lenses that are passed through twice in the projection objective from figure 11;

figure 16 shows the lens section of a catadioptric projection objective together with the projection light beam path;

figure 17 shows the lens section of a catadioptric projection objective together with the projection light beam path; and

figure 18 shows a schematic illustration of a microlithography projection exposure apparatus.

Figure 1 shows the lens section of a catadioptric projection objective 1. The optical design of the projection objective 1 has been taken from the patent application US2009/0092925A1 in the name of Omura, published on 9 April 2009, and corresponds to figure 4 therein. The optical data of the design are summarized in Table 1 in US2009/0092925A1. For a more detailed description of the optical design of the projection objective 1, therefore, reference is made to US2009/0092925A1. The projection objective 1 images the object field 3 in the object plane 5 onto the image field 7 in the image plane 9. It comprises a first partial objective 11, which images the object field 3 on to the first real intermediate image 13, the second partial objective 15, which images the first intermediate image 13 on to the second real intermediate image 17, and the third partial objective 19, which images the second intermediate image 17 onto the image field 7. The second partial objective 15 is embodied as a catadioptric objective having the concave mirror 21 and the two lenses L21 and L22. The folding mirror 23 is arranged in the region of the first intermediate image 13, said folding mirror deflecting the projection light 31 coming from the projection plane 5 in the direction of the concave mirror 21. The folding mirror 25 is arranged in the region of the second intermediate image 17, said folding mirror deflecting the projection light coming from the concave mirror 21 in the direction of the image plane 9.

A stray light analysis was carried out for the projection objective 1 in order to determine the stray light paths on which the stray light can pass into the image plane 9 as single, double or multiple reflection and lead to a background illumination there. Figure 2 shows for the projection objective 1 such a stray light path 33 arising from the fact that the projection objective 31 is reflected at that surface of the lens L21 which faces the concave mirror 21, said surface being referred to hereinafter as back surface of the lens L21. In the stray light path 33 illustrated, the stray light 33, deviating from the projection light path 31, does not pass through

the lens L22 and the concave mirror 21, but passes through all further optical surfaces which the projection light 31 would also pass through if the projection light 31 entered into the lens L21 again after reflection at the concave mirror 21 and after passing through the lens L22. In the stray light path 33, the stray light intermediate image 35 arises in the region of the folding mirror 25 and therefore simultaneously also virtually at a location of the second intermediate image 17. As a result, virtually the entire stray light is reflected at the second folding mirror 25 without being vignetted by the physical boundary of the folding mirror 25, and, in a manner similar to the projection light 31, passes through the third partial objective 19 as far as the image plane 9. The aperture stop 29 is virtually completely illuminated by the stray light, such that it is also not possible to filter out the stray light by means of a spatially delimited diaphragm in the region of the aperture stop plane without the projection light 31 being significantly vignetted.

The back surface of the lens L21 consequently produces a single reflection with very high stray light intensity. In this case, the stray light intensity corresponds approximately to the intensity of the projection light multiplied by the reflectivity of the back surface of the lens L21. This strong single reflection arises because the back surface of the lens L21 has a marginal ray concentricity of 0.6° . Therefore, virtually marginal ray concentricity is provided. Together with the fact that the second partial objective 15 has an absolute value of the imaging scale of 1.03 and the concave mirror 21 is arranged in the region of a pupil plane, the stray light intermediate image 35 is thereby generated virtually at the location of the second intermediate image 17 and the stray light 33 is thus transmitted almost completely via the second folding mirror 25.

The front surface of the lens L21, with a value of 15.9° , likewise has a low marginal ray concentricity, with the result that this surface also makes a contribution to the stray light in the image plane 9. The marginal ray concentricity of the back surface of the lens L22, which faces the concave mirror 21, is 24.0° , and the marginal ray concentricity of the front surface of the lens L22 is 22.9° , with the result that although these two surfaces likewise contribute to the stray light in the image plane 9, the magnitude of their contribution falls far short of that of the back surface of the lens L21. Very generally, the lenses L21 and L22 of the second partial objective 15 should be regarded as susceptible to stray light since both lenses are lenses which are passed through twice and through which the projection light 31 passes both on the light path toward the concave mirror 21 on the light path away from the concave mirror 21. As soon as a

stray light ray reflected at the lens surfaces of said lenses L21 and L22 that are passed through twice passes through the second folding mirror 25, there is the possibility of such a stray light ray reaching the image plane 9 and contributing to the extraneous light. This is a fundamental problem of this class of projection objectives.

In the case of single reflections, the intensity of the stray light in the image plane 9 is linearly dependent on the reflectivity of that lens surface at which the stray light is reflected. The lens surfaces of the lenses L21 and L22 that are passed through twice in the projection objective 1 are covered therefore with an antireflection coating having a reflectivity of less than 0.2% for the projection light wavelength of 193.3 nm and for an angle of incidence range of between 0° and 30°. Figures 3 to 5 illustrate various exemplary embodiments of such an antireflection coating.

Figure 3 shows in a schematic illustration the layer sequence of the antireflection coating 337 proceeding from the substrate 339 of the lens, said substrate being composed of quartz (SiO₂). The antireflection coating 337 comprises 6 layers composed alternately of material having high refractive index and material having a low refractive index. Magnesium fluoride (MgF₂) is used as material having a low refractive index. Lanthanum fluoride (LaF₃) is used as material having a high refractive index. The geometrical thicknesses of the individual layers, the materials and the refractive indices thereof and also the reference signs used in figure 3 are indicated in table 1. The thicknesses of the individual layers are illustrated correctly relative to one another in figure 3.

Reference symbol	Thickness [nm]	Material	Refractive index
339	Substrate	SiO ₂	1.56
341	21.568	LaF ₃	1.69
343	67.626	MgF ₂	1.42
345	29.775	LaF ₃	1.69
347	42.969	MgF ₂	1.42
349	34.261	LaF ₃	1.69
351	26.823	MgF ₂	1.42

Table 1

Figure 4 shows an embodiment of an antireflection coating 437, in turn comprising 6 layers composed alternately of material having a high refractive index and material having a low

refractive index. MgF_2 is used as material having a low refractive index, and LaF_3 is used as material having a high refractive index. The thicknesses of the individual layers, the materials and the refractive indices thereof and also the reference signs used in figure 4 are compiled in table 2.

Reference symbol	Thickness [nm]	Material	Refractive index
439	Substrate	SiO_2	1.56
441	13.762	LaF_3	1.69
443	69.414	MgF_2	1.42
445	42.945	LaF_3	1.69
447	16.440	MgF_2	1.42
449	40.914	LaF_3	1.69
451	30.145	MgF_2	1.42

Table 2

Figure 5 shows an exemplary embodiment of an antireflection coating 537, comprising 7 layers composed alternately of material having a high refractive index and material having a low refractive index. MgF_2 is used as material having a low refractive index, and LaF_3 is used as material having a high refractive index. The thicknesses of the individual layers, the materials and the refractive indices thereof and also the reference signs used in figure 5 are compiled in table 3.

Reference symbol	Thickness [nm]	Material	Refractive index
539	Substrate	SiO_2	1.56
541	37.738	MgF_2	1.42
543	15.378	LaF_3	1.69
545	9.098	MgF_2	1.42
547	29.126	LaF_3	1.69
549	36.117	MgF_2	1.42
551	29.917	LaF_3	1.69
553	33.958	MgF_2	1.42

Table 3

Figure 6 shows, for the antireflection coatings 337, 437 and 537 illustrated in figures 3 to 5, the reflectivity values in the unit [%] as a function of the angles of incidence in the unit [°]. The dash-dotted reflectivity curve 655 results for the antireflection coating 337 having the layer construction in accordance with table 1, the solid reflectivity curve 657 results for the antireflection coating 437 having the layer construction in accordance with table 2 and the

dashed reflectivity curve 659 results for the antireflection coating 537 having the layer construction in accordance with table 3. In the case of all three antireflection coatings, the reflectivity curves 655, 657 and 659 for the angle of incidence range of 0° to 30° run below a reflectivity value of 0.2%, even below a reflectivity value of 0.1%. Up to an angle of incidence of 20° , the reflectivity curves 655, 657 and 659 run below a reflectivity value of 0.1%, even below a reflectivity value of 0.05%. In the case of the antireflection coatings 337 and 537, the reflectivity curves 655 and 659 for an angle of incidence range of 0° to 10° even run below a reflectivity value of 0.02%.

By means of suitable ray tracing programs, for a given optical design of a projection objective, it is possible to calculate the intensity distribution of the stray light in the image plane taking account of the antireflection coatings. Figure 7 shows for the projection objective 1 the intensity distribution 761 of the stray light in the image plane 9 in a contour line illustration. The contour lines are illustrated with a spacing of 0.1%. In this case, the stray light intensity relates to the homogeneous ambient brightness in the image field. In the simulation, the object field 3 was illuminated homogeneously with a pupil filling factor of $\sigma = 0.2$. In this case, exclusively the single reflections at the lens surfaces of the lenses L21 and L22 that are passed through twice in the second partial objective 15 are taken into account as stray light. In this case, the lens surfaces are covered with an antireflection coating having a reflectivity of 0.2% for all angles of incidence. Antireflection coatings such as are used for reducing double reflections or higher-order reflections have said reflectivity value. A reflectivity of 0.2% is sufficient for avoiding double reflections since such a reflection, on account of the two reflections, has an intensity of just $0.2\% \cdot 0.2\% = 0.0004\%$. The contour line illustration makes it clear, however, that such an antireflection coating does not effectively suppress the formation of disturbing single reflections. The single reflections completely illuminate the image field 763 which is depicted using dashed lines, and over the entire image field lead to a background illumination of at least 0.4%, in extensive regions even above 0.8%. The extent of the stray light in the image plane 9, said extent being comparable with the extent of the image field 7, is caused by the fact that the stray light image of the object field 3 is situated more or less in the image plane 9, as becomes clear in figure 2 for the single reflection at the back surface of the lens L21.

Figure 8 shows a section through the intensity distribution 761 along the line 765, running in the

longitudinal direction of the image field 7 through the center of the image field 7, as intensity profile 867. The maximum stray light intensity is 0.93% in the image center and 0.41% at the image edge at $x = \pm 13\text{mm}$. The stray light simulation was carried out not only with an illumination with the pupil filling factor of $\sigma = 0.2$ but also with a pupil filling factor of $\sigma = 1.0$, that is to say with complete illumination of the entrance pupil of the projection objective. The section through the stray light intensity distribution for a pupil filling factor of $\sigma = 1.0$ along the line 765 is illustrated in dashed fashion as intensity profile 869 in figure 8. With complete illumination of the entrance pupil of the projection objective, the maximum stray light intensity is 0.40%. Within the image field 7, the stray light intensity has a virtually constant value. It is evident that the stray light intensity is greatly dependent on the pupil filling factor. Thus, the maximum stray light intensity within the image field 7 for a pupil filling factor of $\sigma = 1.0$ is lower by 0.523% than that for a pupil filling factor of $\sigma = 0.2$. This is characteristic of stray light caused by single reflections. Although stray light on account of surface or a volume scattering likewise leads to a background illumination in the entire image field, the intensity distribution thereof is virtually independent of the pupil filling factor in the image plane in comparison with single reflections. If the measured stray light, as in the present case, has a great dependence on the pupil filling factor, then this is an indication of the formation of single reflections.

Figure 9 shows the intensity profile 971 for a pupil filling factor of $\sigma = 0.2$ and the intensity profile 973 for the pupil filling factor of $\sigma = 1.0$ as sections through stray light intensity distributions, which arise if the lens surfaces of the second partial objective are covered with the antireflection coating 437, the layer construction of which is indicated in table 2. With the improved antireflection coating the maximum stray light intensity within the image field 7 decreases from 0.93% to 0.02% for the pupil filling factor of $\sigma = 0.2$, and from 0.40% to 0.01% for the pupil filling factor of $\sigma = 1.0$. It should be taken into consideration that in figure 9 the scale of the intensity axis is reduced by a factor of 10 in comparison with the scale in figure 8. For the improved antireflection coating the maximum variation of the stray light between the two pupil filling factors is just 0.01% and is therefore vanishingly small. The single reflections can thus be effectively suppressed by means of the improved antireflection coating 437. By therefore measuring the stray light intensity once for the pupil filling factor of $\sigma = 0.2$ and once for the pupil filling factor of $\sigma = 1.0$ within the image field 7, it is possible to determine the

influence of the single reflections of the lenses that are passed through twice in the second partial objective 15 independently of further contributions to the stray light which have other causes and are not dependent on the pupil factor chosen.

In order to measure the stray light in the image plane, the so-called Kirk test is employed, for example, which is described in US2009/0086179A1, inter alia. In the Kirk test, a square object which has a predetermined edge length, for example, 1.0 mm and is itself not luminous is arranged within the object field 3. The object used is a small box, for example, which completely absorbs the illumination light and therefore can be regarded as "black". By contrast, the surroundings of the small box are homogeneously illuminated by the illumination light. The small box is imaged into the image plane 9 by the projection objective 1. In the case of ideal imaging and disregarding stray light, a square, unilluminated region would arise in the image plane 9. Figure 10 shows in schematic illustration, a section through the intensity profile in the region of the image of the small box. In the case of ideal imaging and disregarding the stray light, the intensity curve 1075, depicted in dashed fashion arises, which falls abruptly from 100% to 0% in the region of the image of the small box. The stray light has the effect, however, that it is not dark in the center 1081 of the image of the small box, rather intensity can be detected. The intensity curve 1077 illustrated in solid fashion illustrates the intensity profile which arises upon taking account of the single reflections at the lens surfaces of the second partial objective 15. Stray light on account of surface or volume scattering leads to the intensity profile 1079 illustrated in dash-dotted fashion, which leads to a significantly lower stray light intensity in the center of the image of the small box given a sufficient edge length of the small box. By virtue of the edge length of the small box being 1.0 mm, during the measurement of the stray light it is possible to distinguish the contribution of the lens surfaces of the second partial objective 15 from other stray light contributions. In this case, the intensity value in the center 1081 of the image of the small box corresponds to the integrated stray light intensity which results from stray light sources arranged outside the small box.

For a pupil filling factor of $\sigma = 0.2$ and for a small box having the edge length of 1.0 mm, an intensity of 1.1% arises in the center of the image of the small box if all the lens surfaces of the partial objective 15 are covered with an antireflection coating having a reflectivity of 0.2% for all angles of incidence. If, by contrast, the lens surfaces of the lenses L21 and L22 are covered

with the antireflection coating 437 indicated in table 2, then the stray light intensity in the center of the image of the small box decreases to 0.3%. The measurement of the stray light according to the Kirk test using a square small box having an edge length of between 0.8 mm and 1.2 mm thus makes it possible to directly determine the stray light proportion owing to single reflections.

Figure 11 shows a lens section of a catadioptric projection objective 1101. The elements in figure 11 which correspond to the elements from figure 1 have the same reference signs as in figure 1 increased by the number 1100; for a description of these elements, reference is made to the description concerning figure 1.

The optical data for the projection objective 1101 are compiled in table 4. The aspherical surfaces can be described by the following sagitta formula:

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

In this case, p represents the axial distance in [mm] of the aspherical surface from a plane - perpendicular to the optical axis - through the vertex of the aspherical surface in the case of radial distance h in [mm], R represents the vertex radius in [mm], K represents the conical constant, and C_k represents the individual aspherical constants of the order k in $\left[\frac{1}{\text{mm}^{2k+2}}\right]$.

The projection objective 1101 has a numerical aperture of $NA = 1.2$ in the image plane 1109. The operating wavelength is 193.306 nm. The image field 1107 amounts to 26.0 mm \times 5.5 mm and has a minimum distance from the optical axis 1127 of 1.98 mm. The projection objective 1101 has an absolute value of the imaging scale of 0.25. An immersion projection objective is involved here, in which during operation water as immersion liquid is situated between the last lens surface and the object to be exposed.

The first partial objective 1111 is formed by the surfaces 1 to 20, the second partial objective 1115 is formed by the surfaces 22 to 26 and the third partial objective 1119 is formed by the surfaces 28 to 52. The folding mirrors 1123 and 1125 with the surface numbers 21 and 27 are not assigned to any of the three partial objectives 1111, 1115 and 1119, since the folding

mirrors 1123 and 1125, as plane mirrors have no influence on the imaging, but rather only deflect the projection light 1131. The first partial objective 1111 has an absolute value of the imaging scale of 1.05, the second partial objective 1115 has an absolute value of the imaging scale of 1.01 and the third partial objective 1119 has an absolute value of the imaging scale of 0.23.

All the principal rays which emerge from the object field 1103 and which intersect the optical axis 1127 at the location of the aperture diagram 1129 have at the concave mirror 1121 a height which is less than 9.1% of the diameter of the optically utilized region of the concave mirror 1121. The concave mirror 1121 is thus arranged in the region of a pupil plane of the projection objective 1101.

The principal ray emerging from the object point ($x = 52.00$ mm, $y = 29.93$ mm) has a radial distance from the optical axis of 70 mm in a fictitious plane which is perpendicular to the optical axis 1127 and which intersects the optical axis 1127 at the same location as the second folding mirror 1125. The fictitious marginal ray has, by contrast, nearly a radial distance of 1.5 mm in this plane. In this case, the object point ($x = 52.00$ mm, $y = 29.93$ mm) has the largest distance from the optical axis 1127 within the object field 1103. The second intermediate image 1117 is thus arranged in the region of the second folding mirror 1125.

The sequence of the lens surfaces in table 4 corresponds to the projection light path. The projection light passes through all the surfaces in the order indicated. The lens L1111 of the second partial objective 1115 is passed through twice and is therefore indicated twice with the surface numbers 22 and 23, and 26 and 25, in table 4. In this case, the lens L1111 is the sole lens in the second partial objective 1115. The distance between the lens L1111 and the concave mirror 1121 is 40.2 mm. The first paraxial intermediate image has a distance of 312.12 mm from the concave mirror 1121, the second paraxial intermediate image has a distance of 316.25 mm from the concave mirror 1121. The lens L1111 is therefore arranged nearer to the concave mirror 1121 than to the first intermediate image 1113 or to the second intermediate image 1117.

In principle, the lens L1111, owing to its arrangement in the second partial objective as a lens

that is passed through twice, would be critical for the production of a single reflection in the image plane 1109. However, that lens surface of the lens L1111 which faces the concave mirror 1121, that is to say the back surface of the lens L1111, has a marginal ray concentricity of 30.0° , and the front surface has a marginal ray concentricity of 30.8° . Both surfaces thus deviate considerably from the marginal ray concentricity. At the same time, the extent of the second folding mirror 1125 is adapted to the extent of the projection light beam 1131. Thus, the extent of the projection light beam on the second folding mirror 1125 is $141.1 \text{ mm} \times 65.4 \text{ mm}$, while the second folding mirror 1125 has an extent of $145 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$. The formation of a single reflection is largely suppressed on account of the deviation of the two lens surfaces of the lens L1111 from the marginal ray concentricity and the second folding mirror 1125 adapted to the extent of the projection light beam.

Figure 12 shows, for the exemplary embodiment from figure 11, the stray light path 1133, formed if the projection light 1131 is reflected at the back surface of the lens L1111. It becomes clear from the stray light path 1233 that the stray light intermediate image 1235 is not formed on the second folding mirror 1125, but rather far away from the folding mirror 1125 in the vicinity of the aperture stop plane with the aperture stop 1129. The stray light beam at the second folding mirror 1125 thus has a much larger extent than the second folding mirror 1125 and is largely vignetted. Consequently, the stray light beam in the object plane 1105 has only a small aperture in comparison with the maximum possible aperture. In addition, this stray light is greatly focused in the region of the aperture stop 1129, such that it could be shaded by a diaphragm around the optical axis.

Figure 13 shows, for the exemplary embodiment from Figure 11, the stray light path 1333 formed if the projection light 1131 is reflected at the front surface of the lens L1111. In this case, the stray light intermediate image 1335 is formed shortly after the lens L1111 and thus likewise far away from the folding mirror 1125 such that the stray light beam at the second folding mirror 1125 has a much larger extent than the second folding mirror 1125 and is largely vignetted.

By virtue of the front and back surfaces of the lens L1111 deviating more than 20° from the marginal ray concentricity, the formation of a single reflection in the image plane 909 can be

largely suppressed.

In order to show the reduction of the single reflections by the specific configuration of the lens surfaces of the second partial objective 1115, stray light simulations were carried out for the projection objective 1101 and the stray light intensity distributions in the image plane 1109 were determined. In the simulation, the object field 1103 was homogeneously illuminated firstly with a pupil filling factor of $\sigma = 0.2$ and secondly with a pupil filling factor of $\sigma = 1.0$. In this case, exclusively the single reflections at the lens surfaces of the lens L1111 that is passed through twice in the second partial objective 1115 are taken into account as stray light. In this case, the lens surfaces are covered with an antireflection coating having a reflectivity of 0.2% for all angles of incidence. Figure 14 shows, with the intensity profile 1483, a section through the stray light intensity distribution for the pupil filling factor of $\sigma = 0.2$ along a line running in the longitudinal direction of the image field 1107 through the center of the image field 1107. The maximum stray light intensity is 0.18% in the image center and 0.13% at the image edge at $x = \pm 13$ mm. The section through the stray light intensity distribution for a pupil filling factor of $\sigma = 1.0$ is illustrated as intensity profile 1485 in figure 14. The maximum stray light intensity is just 0.01% with complete illumination of the entrance pupil of the projection objective. Although a dependence of the stray light on the pupil filling factor is still evident, the variation between a pupil filling factor of $\sigma = 1.0$ and a pupil filling factor of $\sigma = 0.2$ is only 0.17%.

Figure 15 shows the intensity profile 1487 for a pupil filling factor of $\sigma = 0.2$ and the intensity profile 1489 for the pupil filling factor of $\sigma = 1.0$ as sections through stray light intensity distributions, which arise if the lens surfaces of the second partial objective are covered with the antireflection coating 437, the layer construction of which is indicated in table 2. With the improved antireflection coating, the maximum stray light intensity within the image field 1107 decreases from 0.13% to 0.01% for the pupil filling factor of $\sigma = 0.2$ and from 0.01% to 0.002% for the pupil filling factor of $\sigma = 1.0$. It should be taken into consideration that in figure 15 the scale of the intensity axis has once again been reduced by a factor of 10 in comparison with the scale in figure 14. Consequently, the single reflection is practically no longer detectable .

If the Kirk test is employed using a square small box having an edge length of 1.0 mm, an

intensity of 0.4% results for a pupil filling factor of $\sigma = 0.2$ in the center of the image of the small box if all the lens surfaces of the partial objective 15 are covered with an antireflection coating having a reflectivity of 0.2% for all angles of incidence. If, by contrast, the lens surfaces of the lens L1111 are covered with the antireflection coating 437 indicated in table 2, then the stray light intensity in the center of the image of the small box decreases to 0.3%.

Figure 16 shows a lens section of a catadioptric projection objective 1601. The elements in figure 16 which correspond to the elements from figure 1 have the same reference signs as in figure 1 increased by the number 1600; for a description of these elements reference is made to the description concerning figure 1.

The optical data for the projection objective 1601 are compiled in table 5. The projection objective 1601 has a numerical aperture of $NA = 1.2$ in the image plane 1609. The operating wavelength is 193.306 nm. The image field 1607 is 26 mm \times 5.5 mm and has a minimum distance from the optical axis 1627 of 1.98 mm. The projection objective 1601 has an absolute value of the imaging scale of 0.25. An immersion projection objective is involved here, in which during the operation water as immersion liquid is situated between the last lens surface and the object to be exposed.

The first partial objective 1611 is formed by the surfaces 1 to 20, the second partial objective 1615 is formed by the surfaces 22 to 26 and the third partial objective 1619 is formed by the surfaces 28 to 52. The first partial objective 1611 has an absolute value of the imaging scale of 1.03, the second partial objective 1615 has an absolute value of the imaging scale of 1.01 and the third partial objective 1619 has an absolute value of the imaging scale of 0.24.

All the principal rays which emerge from the object field 1603 and which intersect the optical axis 1627 at the location of the aperture diagram 1629 have at the concave mirror 1621, a height which is less than 8.6% of the diameter of the optically utilized region of the concave mirror 1621. The concave mirror 1621 is thus arranged in the region of a pupil plane of the projection objective 1601.

The principal ray emerging from the object point ($x = 52$ mm, $y = 29.93$ mm) has a radial

distance of 68.29 mm in a fictitious plane which is perpendicular to the axis 1627 and which intersects the optical axis 1627 at the same location as the second folding mirror 1625. By contrast, the fictitious marginal ray has only a radial distance of 0.82 mm in said plane. In this case, the object point ($x = 52$ mm, $y = 29.93$ mm) has the largest distance from the optical axis 1627 within the object field 1603. The second intermediate image 1617 is thus arranged in the region of the second folding mirror 1625.

The lens L1611 is the sole lens in the second partial objective 1615. Both the front surface and the back surface of the lens L1611 are configured as aspherical surfaces. The distance between the lens L1611 and the concave mirror 1621 is 40.2 mm. The first paraxial intermediate image has a distance of 300.48 mm from the concave mirror 1621, the second paraxial intermediate image has a distance of 316.25 mm from the concave mirror 1621. The lens L1611 is thus arranged nearer to the concave mirror 1621 than to the first intermediate image 1613 or to the second intermediate image 1617.

That lens surface of the lens L1611 which faces the concave mirror 1621, that is to say the back surface of the lens L1611, has a marginal ray concentricity of 30.9° , and the front surface has a marginal ray concentricity of 30.2° . Both surfaces thus deviate considerably from the marginal ray concentricity.

Figure 17 shows a lens section of a catadioptric projection objective 1701. The elements in figure 17 which correspond to the elements from figure 1 have the same reference signs as in figure 1 increased by the number 1700; for a description of these elements reference is made to the description concerning figure 1.

The optical data for the projection objective 1701 are compiled in table 6. The projection objective 1701 has a numerical aperture of $NA = 1.2$ in the image plane 1709. The operating wavelength is 193.307 nm. The image field 1707 is 26.0 mm \times 5.5 mm and has a minimum distance from the optical axis 1727 of 1.98 mm. The projection objective 1701 has an absolute value of the imaging scale of 0.25. An immersion projection objective is involved here, in which during the operation water as immersion liquid is situated between the last lens surface and the object to be exposed.

The first partial objective 1711 is formed by the surfaces 1 to 22, the second partial objective 1715 is formed by the surfaces 24 to 28 and the third partial objective 1719 is formed by the surfaces 30 to 58. The first partial objective 1711 has an absolute value of the imaging scale of 0.96, the second partial objective 1715 has an absolute value of the imaging scale of 1.00 and the third partial objective 1719 has an absolute value of the imaging scale of 0.26.

All the principal rays which emerge from the object field 1703 and which intersect the optical axis 1727 at the location of the aperture diagram 1729 have at the concave mirror 1721, a height which is less than 7.5% of the diameter of the optically utilized region of the concave mirror 1721. The concave mirror 1721 is thus arranged in the region of a pupil plane of the projection objective 1701.

The principal ray emerging from the object point ($x = 52$ mm, $y = 29.93$ mm) has a radial distance of 67.77 mm in a fictitious plane which is perpendicular to the axis 1727 and which intersects the optical axis 1727 at the same location as the second folding mirror 1725. By contrast, the fictitious marginal ray has only a radial distance of 1.27 mm in said plane. In this case, the object point ($x = 52$ mm, $y = 29.93$ mm) has the largest distance from the optical axis 1727 within the object field 1703. The second intermediate image 1717 is thus arranged in the region of the second folding mirror 1725.

The lens L1712 is the sole lens in the second partial objective 1715. Both the front surface and the back surface of the lens L1712 are configured as aspherical surfaces. The distance between the lens L1712 and the concave mirror 1721 is 33.4 mm. The first paraxial intermediate image has a distance of 188.92 mm from the concave mirror 1721, the second paraxial intermediate image has a distance of 189.59 mm from the concave mirror 1721. The lens L1712 is thus arranged nearer to the concave mirror 1721 than to the first intermediate image 1713 or to the second intermediate image 1717.

That lens surface of the lens L1712 which faces the concave mirror 1721, that is to say the back surface of the lens L1712, has a marginal ray concentricity of 38.6° , and the front surface has a marginal ray concentricity of 20.0° . Both surfaces thus deviate from the marginal ray

concentricity. In comparison with the lenses L111 in the projection objectives 1101 and L1611 in the projection objective 1601, the lens bending of the lens L1712 is opposite to that of the lenses L1111 or L1611. While in the case of the front surfaces of the lenses L1111 or L1611 the surface normal at the intersection point of the fictitious marginal ray run between marginal ray and optical axis 1127 and 1627, respectively, in the case of the front surface of the lens L1712 the fictitious marginal ray runs between surface normal at the intersection point of the marginal ray and the optical axis 1727. Consequently, the front surface of the lens L1712 is convexly curved with respect to the marginal ray incident from the first intermediate image 1713.

Fig. 18 schematically shows a projection exposure apparatus 1801 for microlithography that serves for producing semiconductor components or other finely structured components. The projection exposure apparatus 1801 has an excimer laser 1803 as light source having an operating wavelength of 193 nm, although other excimer lasers for example having operating wavelengths of 157 nm or 248 nm are also possible. An illumination system 1805, disposed downstream, generates a sharply bounded, homogeneously illuminated illumination field that is simultaneously adapted with regard to its angular distribution to the requirements of the projection objective 1813 disposed downstream. The illumination system 1805 has devices for selecting the illumination mode and can thereby generate for example in the exit pupil of the illumination system 1805, or in the entrance pupil of the projection objective 1813 disposed downstream, a conventional illumination with a variable pupil filling factor σ , an annular illumination, dipole illumination or quadrupole illumination.

A device 1809 for holding and manipulating a reticle 1807 is arranged in the light direction downstream of the illumination system 1805. The reticle 1807, also referred to as a mask, has the structure to be imaged. By means of the device 1809 the reticle 1807 can be moved in a scanning direction for scanning purposes in the object plane 1811.

The projection objective 1813 is a catadioptric projection objective, as described with the aid of figures 1, 11, 16 and 17. The catadioptric projection objective 1813 images that part of the reticle 1807 which is illuminated by the illumination system 1805 onto the wafer 1815 in demagnified fashion. The wafer 1815 has a light-sensitive layer that is exposed upon irradiation with the projection light.

The wafer 1815 is held by a device 1819 that permits a parallel movement of the wafer 1815 synchronized with the scanning movement of the reticle. The device 1819 also has manipulators that position the wafer 1815 optimally in the image plane 1817 of the projection objective 1813. The device 1819 is designed for the immersion use of the projection objective. It has a holding unit 1821 having a shallow depression or recess for holding the wafer 1815. The holding unit 1821 has a peripheral edge 1823 in order to prevent the immersion medium 1825 from flowing away.

The projection exposure apparatus is controlled by a central computer unit 1827.

In order to produce semiconductor components and other finely structured components by means of the projection exposure apparatus 1801, therefore, provision is made of a reticle 1807 having a predetermined pattern in the object plane 1811 of the catadioptric projection objective 1813, provision is made of a wafer 1815 having a light-sensitive layer in the image plane of the catadioptric projection objective 1813, the reticle 1807 is illuminated by means of the illumination system 1903 and, finally, the illuminated region of the reticle 1807 is imaged onto the wafer 1815 by means of the catadioptric projection objective 1813.

Table 4

NA	1.2
Object height	60
Wavelength	193.306

Surface	Radius	Thickness	Material	Refractive index	Half diameter
0	0.000000	50.000000			60.0
1	0.000000	8.000000	SiO ₂	1.560326	75.8
2	0.000000	59.610620			77.4
3	1439.380884	32.013517	SiO ₂	1.560326	97.3
4	-271.207483	2.110453			99.0
5	583.614042	16.197420	SiO ₂	1.560326	100.5
6	1991.428343	3.396948			100.2
7	137.148931	46.192632	SiO ₂	1.560326	99.4
8	1990.872673	35.955682			95.9
9	71.140440	46.083036	SiO ₂	1.560326	64.8
10	74.802466	57.285100			47.1
11	-67.442491	36.623983	SiO ₂	1.560326	45.5
12	-120.009774	0.999896			67.8
13	-316.440706	21.841425	SiO ₂	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	Mirror		70.8
22	100.735080	-15.000002	SiO2	1.560326	77.3
23	1546.908367	-32.735719			95.3
24	154.868408	32.735719	Mirror		97.4
25	1546.908367	15.000002	SiO2	1.560326	95.3
26	100.735080	287.184726			77.3
27	0.000000	-67.470410	Mirror		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			

Surface	Aspherical	Constants			
	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
Surface	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
Surface	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			

	Decentering	and tilt			
Surface	Δx	Δy	Δz	alpha	beta
21	0	0	0	45	0
27	0	0	0	45	0

Table 5

NA	1.2
Object height	60
Wavelength	193.306

Surface	Radius	Thickness	Material	Refractive index	Half diameter
0	0.000000	50.000000			60.0
1	0.000000	8.000000	SiO2	1.560326	75.8
2	0.000000	52.869064			77.4
3	1151.891547	30.208455	SiO2	1.560326	95.4
4	-297.772920	3.256949			97.0
5	392.306364	20.384062	SiO2	1.560326	99.2
6	2065.429234	7.942304			98.7
7	127.761865	45.517258	SiO2	1.560326	96.0
8	969.751914	34.534602			92.1
9	72.468670	38.613055	SiO2	1.560326	62.1
10	73.543725	56.553595			46.3
11	-68.108298	31.573318	SiO2	1.560326	46.0
12	-109.674176	0.999866			65.2
13	-328.152276	23.012797	SiO2	1.560326	74.4
14	-156.396340	49.715086			79.2
15	-201.140848	38.713984	SiO2	1.560326	98.1
16	-122.640971	0.999882			103.2
17	2881.906041	35.379085	SiO2	1.560326	109.1
18	-269.889474	0.999898			109.8
19	201.477991	40.395129	SiO2	1.560326	102.2
20	-820.910555	64.207152			99.4
21	0.000000	-272.609099	Mirror		68.5
22	95.391786	-15.000002	SiO2	1.560326	75.6
23	1195.870422	-32.735719			93.6
24	150.428374	32.735719	Mirror		95.7
25	1195.870422	15.000002	SiO2	1.560326	93.6
26	95.391786	272.609099			75.6
27	0.000000	-66.033144	Mirror		69.5
28	1947.063451	-26.673854	SiO2	1.560326	89.0
29	233.589947	-0.999701			91.7
30	-199.473771	-82.749765	SiO2	1.560326	101.9
31	3119.046646	-0.999910			98.4
32	-163.659814	-97.677532	SiO2	1.560326	94.7
33	-539.497284	-13.721631			71.9
34	641.496250	-9.999860	SiO2	1.560326	70.4
35	-263.409377	-22.259722			65.3
36	545.844495	-9.999869	SiO2	1.560326	65.6
37	-150.000000	-51.094164			69.1
38	122.880466	-44.260917	SiO2	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

Surface	Aspherical	Constants			
	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
Surface	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
Surface	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	

Surface	Decentering	and tilt		alpha	beta
	Δx	Δy	Δz		
21	0	0	0	45	0
27	0	0	0	45	0

Table 6

NA	1.2
Object height	60
Wavelength	193.306

Surface	Radius	Thickness	Material	Refractive index	Half diameter
0	0.000000	50.000000			60.0
1	0.000000	8.000000	SiO2	1.560326	75.8
2	0.000000	50.933772			77.4
3	-727.775952	25.801782	SiO2	1.560326	91.7
4	-216.030845	0.999536			94.2
5	211.040976	39.710297	SiO2	1.560326	100.0
6	-1076.869902	0.999021			98.8
7	112.711195	31.326403	SiO2	1.560326	87.5
8	214.295126	0.999021			82.2
9	66.802488	35.387213	SiO2	1.560326	65.6
10	66.108395	78.774319			54.5
11	-55.465504	9.999279	SiO2	1.560326	46.8
12	-298.251888	8.105868			72.0
13	-253.844073	52.611973	SiO2	1.560326	80.0
14	-100.868104	0.999465			90.1
15	-254.089180	50.743218	SiO2	1.560326	105.4
16	-122.616553	0.999454			113.0
17	-325.389469	35.368071	SiO2	1.560326	127.5
18	-192.299059	0.999384			130.8
19	857.924664	43.506291	SiO2	1.560326	134.2
20	-402.182966	0.999406			133.9
21	176.032352	46.901034	SiO2	1.560326	117.2
22	891.737549	71.819796			112.8
23	0.000000	-160.998496	Mirror		69.5
24	-208.477853	-20.000004	SiO2	1.560326	53.4
25	-111.736857	-23.422421			54.3
26	134.874404	23.422421	Mirror		55.0
27	-111.736857	20.000004	SiO2	1.560326	54.3
28	-208.477853	160.998496			53.4
29	0.000000	-65.065512	Mirror		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			

	Aspherical	Constants			
Surface	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
Surface	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
Surface	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	

	Decentering		and tilt			
Surface	Δx	Δy	Δz	alpha	beta	
23	0	0	0	45	0	
29	0	0	0	45	0	

Patent Claims:

1. Catadioptric projection objective (1, 1101, 1601, 1701) for microlithography for imaging an object field (3, 1103, 1603, 1703) in an object plane (5, 1105, 1605, 1705) onto an image field (7, 1107, 1607, 1707) in an image plane (9, 1109, 1609, 1709) comprising
 - a first partial objective (11, 1111, 1611, 1711) for imaging the object field onto a first real intermediate image (13, 1113, 1613, 1713),
 - a second partial objective (15, 1115, 1615, 1715) for imaging the first intermediate image onto a second real intermediate image (17, 1117, 1617, 1717), and
 - a third partial objective (19, 1119, 1619, 1719) for imaging the second intermediate image onto the image field,wherein the second partial objective is a catadioptric objective having exactly one concave mirror (21, 1121, 1621, 1721) and having at least one lens (L21, L22, L1111, L1611, L1712), and
wherein a first folding mirror (23, 1123, 1623, 1723) for deflecting the radiation coming from the object plane in the direction of the concave mirror and a second folding mirror (25, 1125, 1625, 1725) for deflecting the radiation coming from the concave mirror in the direction of the image plane are provided,
characterized
in that at least one surface of a lens (L21, L22, L1111, L1611, L1712) of the second partial objective has an antireflection coating (337, 437, 537) having a reflectivity of less than 0.2% for an operating wavelength of between 150nm and 250nm and for an angle-of-incidence range of between 0° and 30°.
2. Catadioptric projection objective according to claim 1,
wherein the antireflection coating (337, 437, 537) comprises at least 6 layers (339, 341, 343, 345, 347, 349, 351; 439, 441, 443, 445, 447, 449, 451; 539, 541, 543, 545, 547, 549, 551, 553) composed alternately of material having a high refractive index and material having a low refractive index.
3. Catadioptric projection objective according to claim 2,
wherein the material having a low refractive index is a dielectric material selected from a group consisting of: magnesium fluoride, aluminum fluoride, sodium fluoride, lithium fluoride, calcium fluoride, barium fluoride, strontium fluoride, cryolite, chiolite, and

- combinations thereof.
4. Catadioptric projection objective according to claim 2 or 3,
wherein the material having a high refractive index is a dielectric material selected from a group consisting of: neodymium fluoride, lanthanum fluoride, gadolinium fluoride, dysprosium fluoride, aluminum oxide, lead fluoride, yttrium fluoride, and combinations thereof.
 5. Catadioptric projection objective according to any of claims 1 to 4,
in that the at least one surface has a deviation from the marginal ray concentricity of less than 20°.
 6. Catadioptric projection objective (1101, 1601, 1701) for microlithography for imaging an object field (1103, 1603, 1703) in an object plane (1105, 1605, 1705) onto an image field (1107, 1607, 1707) in an image plane (1109, 1609, 1709) comprising
 - a first partial objective (1111, 1611, 1711) for imaging the object field onto a first real intermediate image (1113, 1613, 1713),
 - a second partial objective (1115, 1615, 1715) for imaging the first intermediate image onto a second real intermediate image (1117, 1617, 1717), and
 - a third partial objective (1119, 1619, 1719) for imaging the second intermediate image onto the image field,wherein the second partial objective is a catadioptric objective having exactly one concave mirror (1121, 1621, 1721) and having at least one lens (L1111, L1611, L1712), and
wherein a first folding mirror (1123, 1623, 1723) for deflecting the radiation coming from the object plane in the direction of the concave mirror and a second folding mirror (1125, 1625, 1725) for deflecting the radiation coming from the concave mirror in the direction of the image plane are provided,
characterized
in that all the surfaces of the lenses (L1111, L1611, L1712) of the second partial objective (1115, 1615, 1715) are configured in such a way that the deviation from the marginal ray concentricity is greater than or equal to 20°.
 7. Catadioptric projection objective according to claim 6,
wherein the second partial objective has exactly one lens (L1111, L1611, L1712).
 8. Catadioptric projection objective according to claim 7,

wherein both lens surfaces of the lens (L1611, L1712) are configured in aspherical fashion.

9. Catadioptric projection objective (1, 1101, 1601, 1701) for microlithography for imaging an object field (3, 1103, 1603, 1703) in an object plane (5, 1105, 1605, 1705) onto an image field (7, 1107, 1607, 1707) in an image plane (9, 1109, 1609, 1709) comprising
- a first partial objective (11, 1111, 1611, 1711) for imaging the object field onto a first real intermediate image (13, 1113, 1613, 1713),
 - a second partial objective (15, 1115, 1615, 1715) for imaging the first intermediate image onto a second real intermediate image (17, 1117, 1617, 1717), and
 - a third partial objective (19, 1119, 1619, 1719) for imaging the second intermediate image onto the image field,

wherein the second partial objective is a catadioptric objective having exactly one concave mirror (21, 1121, 1621, 1721) and having at least one lens (L21, L22, L1111, L1611, L1712), and

wherein a first folding mirror (23, 1123, 1623, 1723) for deflecting the radiation coming from the object plane in the direction of the concave mirror and a second folding mirror (25, 1125, 1625, 1725) for deflecting the radiation coming from the concave mirror in the direction of the image plane are provided,

characterized

in that the lenses (L21, L22, L1111, L1611, L1712) of the second partial objective (15, 1115, 1615, 1715) have lens surfaces having antireflection coatings,

wherein the lens surfaces and/or the antireflection coatings are configured in such a way that in the center (1081) of the image of a square object the intensity is less than 1.1% in comparison with the maximum intensity within the image field (7, 1107, 1607, 1707),

wherein the object

- has an edge length of between 0.8mm and 1.2mm,
 - is arranged within the homogeneously illuminated object field (3, 1103, 1603, 1703),
 - is not luminous itself, and
 - is imaged with a pupil filling factor of between $\sigma = 0.2$ and $\sigma = 0.3$ into the image plane (9, 1109, 1609, 1709).
10. Catadioptric projection objective (1, 1101, 1601, 1701) for microlithography for imaging an object field (3, 1103, 1603, 1703) in an object plane (5, 1105, 1605, 1705) onto an

image field (7, 1107, 1607, 1707) in an image plane (9, 1109, 1609, 1709) comprising

- a first partial objective (11, 1111, 1611, 1711) for imaging the object field onto a first real intermediate image (13, 1113, 1613, 1713),
- a second partial objective (15, 1115, 1615, 1715) for imaging the first intermediate image onto a second real intermediate image (17, 1117, 1617, 1717), and
- a third partial objective (19, 1119, 1619, 1719) for imaging the second intermediate image onto the image field,

wherein the second partial objective is a catadioptric objective having exactly one concave mirror (21, 1121, 1621, 1721), and

wherein a first folding mirror (23, 1123, 1623, 1723) for deflecting the radiation coming from the object plane in the direction of the concave mirror and a second folding mirror (25, 1125, 1625, 1725) for deflecting the radiation coming from the concave mirror in the direction of the image plane are provided,

characterized

in that the lenses (L21, L22, L1111, L1611, L1712) of the second partial objective (15, 1115, 1615, 1715) have lens surfaces having antireflection coatings,

wherein the lens surfaces and/or the antireflection coatings are configured in such a way that within the image field (7, 1107, 1607, 1707) the maximum difference between the false light intensity (971, 1483) for a pupil filling factor of between $\sigma = 0.2$ and $\sigma = 0.3$ and the false light intensity (973, 1485) for a pupil filling factor of between $\sigma = 0.8$ and $\sigma = 1.0$ in the image plane is less than 0.3%.

11. Catadioptric projection objective according to any of claims 1 to 10, wherein the second partial objective (15, 1115, 1615, 1715) has an absolute value of the imaging scale of between 0.8 and 1.25.
12. Catadioptric projection objective according to any of claims 1 to 11, wherein the concave mirror (21, 1121, 1621, 1721) is arranged in the region of a pupil plane.
13. Catadioptric projection objective according to any of claims 1 to 12, wherein the second intermediate image (17, 1117, 1617, 1717) is arranged in the region of the second folding mirror (25, 1125, 1625, 1725).
14. Projection exposure apparatus (1801) for microlithography comprising an illumination system (1805) and a catadioptric projection objective (1813) according to any of claims

1 to 13.

Abstract:

Catadioptric projection objective (1) for microlithography for imaging an object field (3) in an object plane (5) onto an image field (7) in an image plane (9) comprising a first partial objective (11) for imaging the object field onto a first real intermediate image (13), a second partial objective (15) for imaging the first intermediate image onto a second real intermediate image (17), and a third partial objective (19) for imaging the second intermediate image onto the image field. The second partial objective is a catadioptric objective having exactly one concave mirror and having at least one lens (L21, L22). A first folding mirror (23) for deflecting the radiation coming from the object plane in the direction of the concave mirror and a second folding mirror (25) for deflecting the radiation coming from the concave mirror in the direction of the image plane are provided. At least one surface of a lens (L21, L22) of the second partial objective has an antireflection coating having a reflectivity of less than 0.2% for an operating wavelength of between 150nm and 250nm and for an angle-of-incidence range of between 0° and 30°. As an alternative or in addition, all the surfaces of lenses of the second partial objective are configured in such a way that the deviation from the marginal ray concentricity is greater than or equal to 20°.

(Fig. 1)

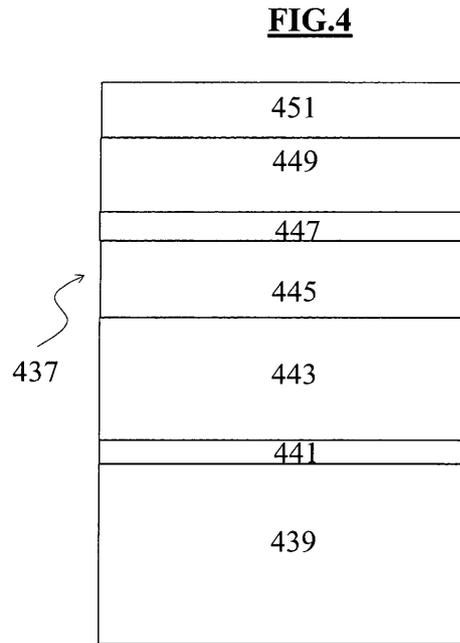
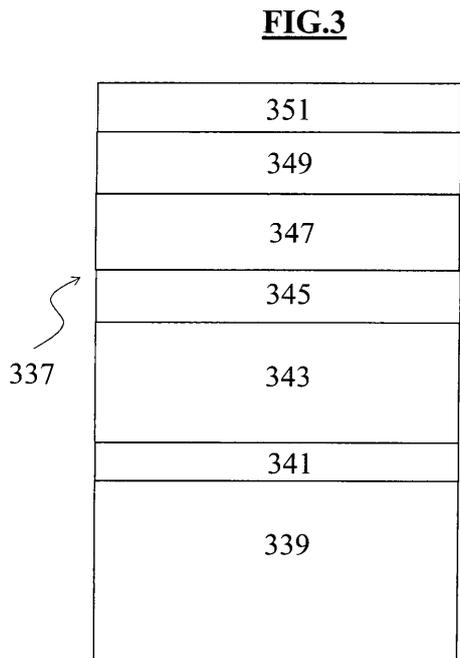
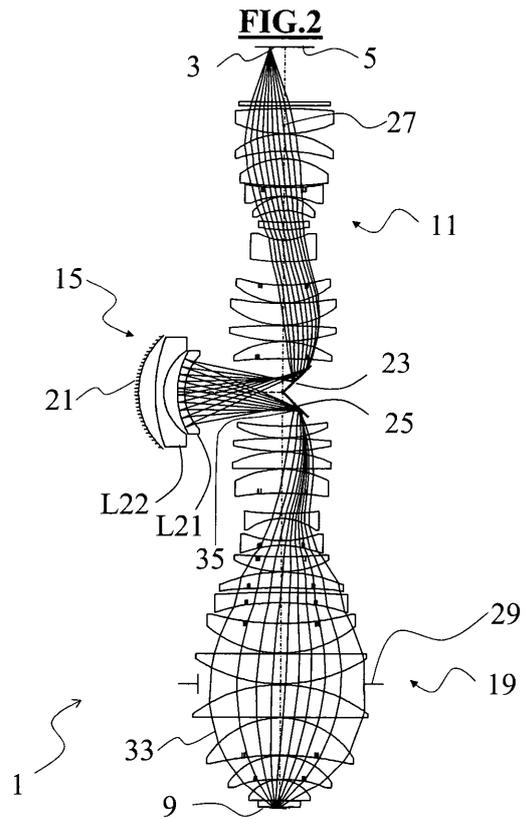
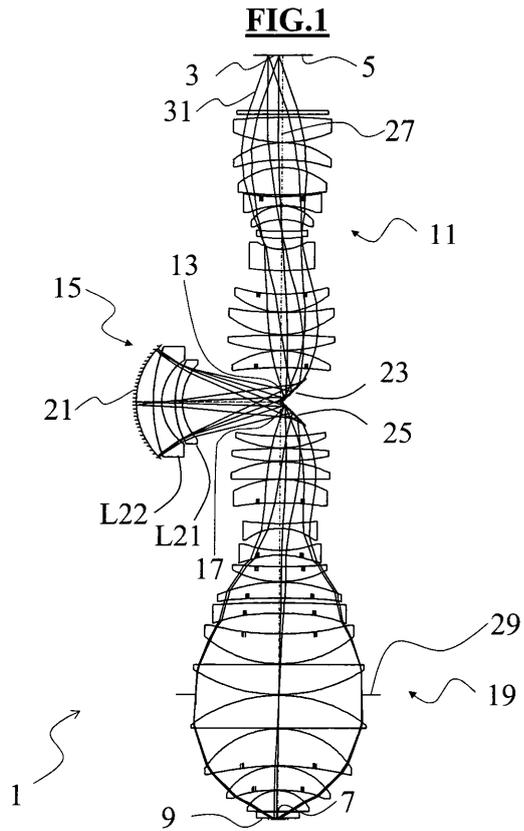


FIG.5

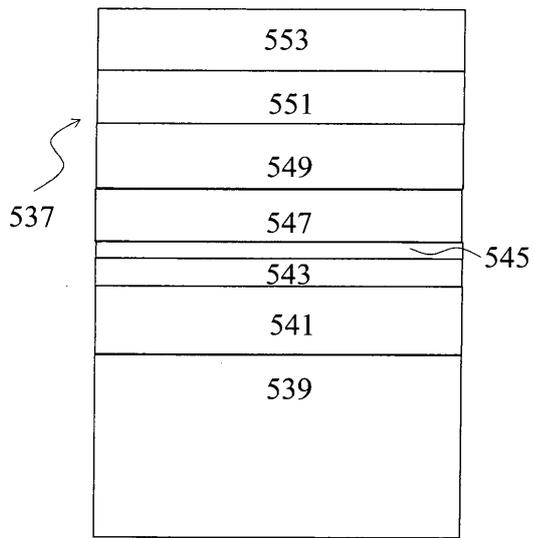


FIG.6

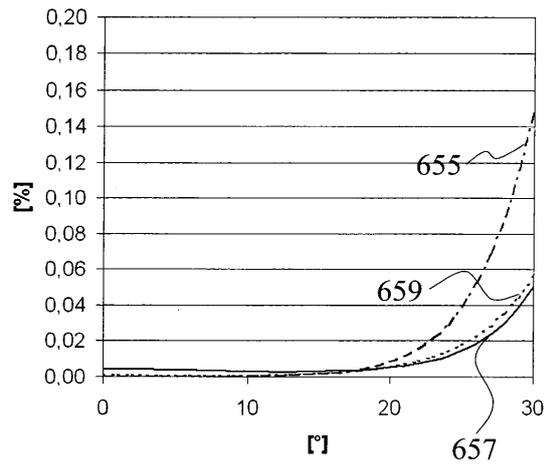


FIG.7

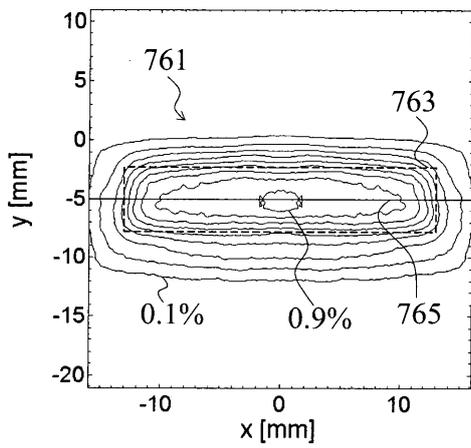


FIG.8

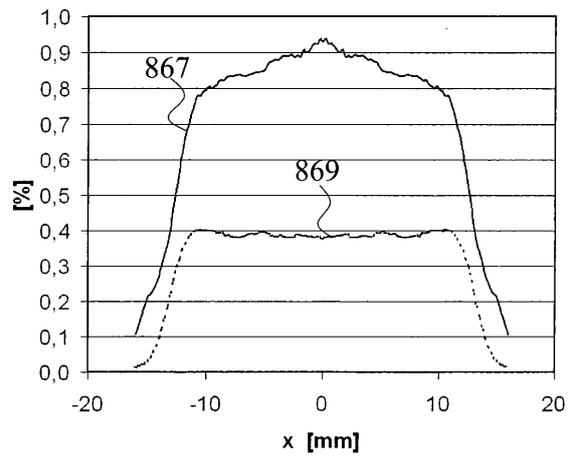


FIG.9

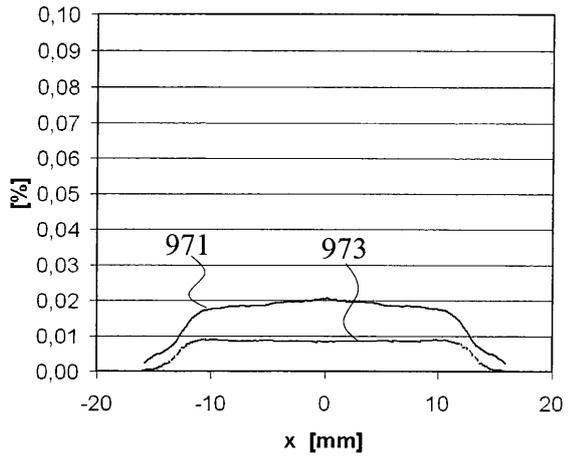


FIG.10

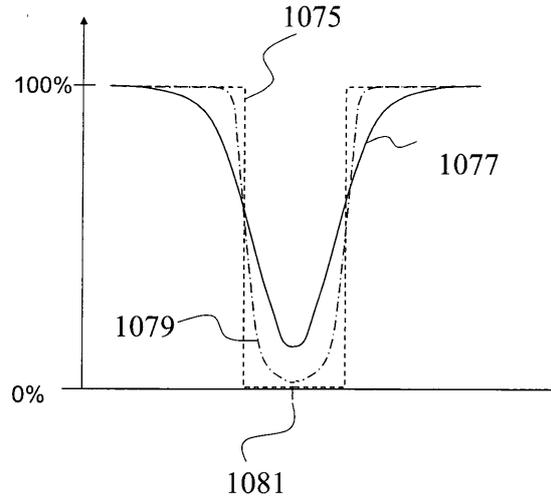


FIG.11

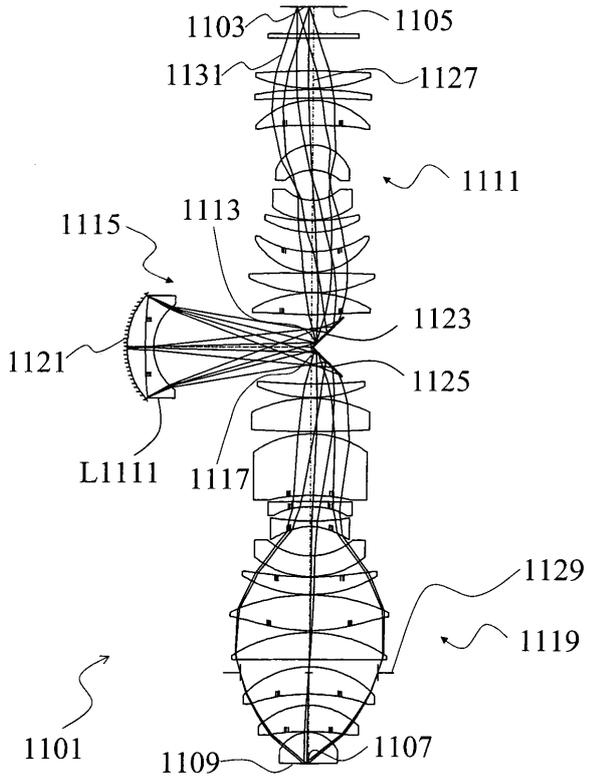


FIG.12

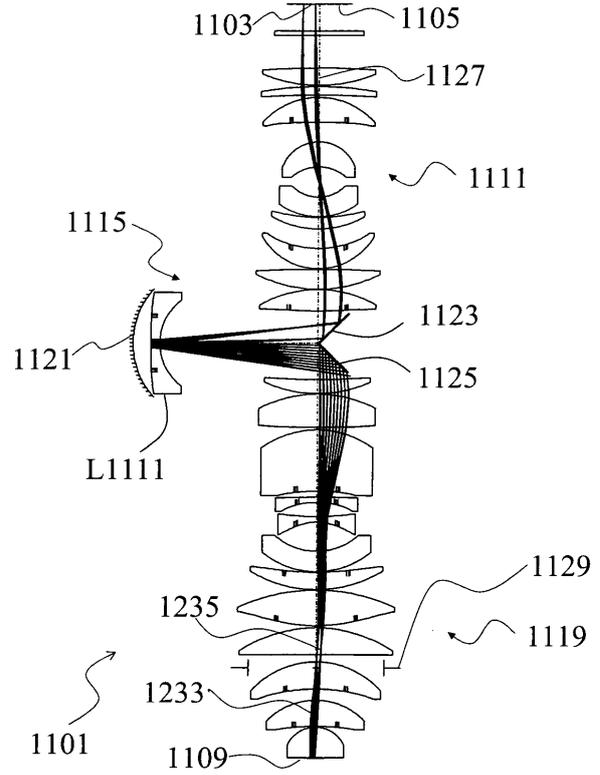


FIG.17

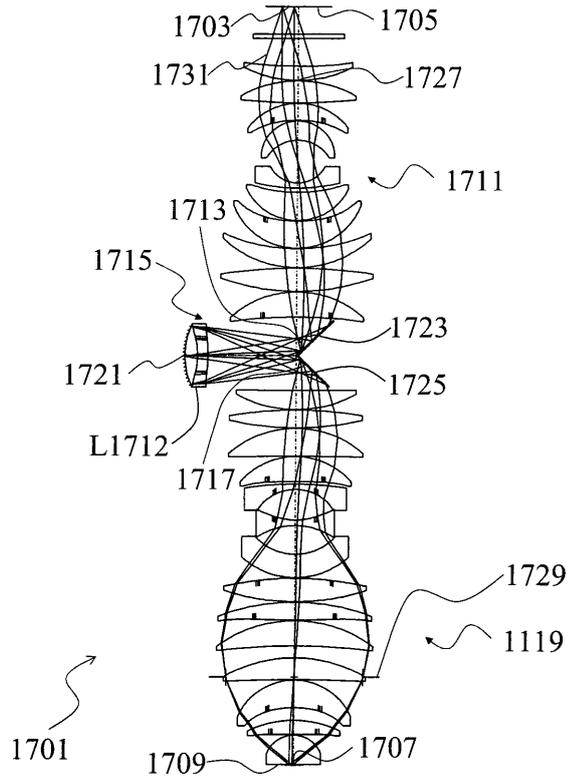


FIG.18

