(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3636212号
(P3636212)
(45)発行日　平成17年4月6日(2005.4.6)　(24)登録日　平成17年1月14日(2005.1.14)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G02B 17/08　G02B 17/08　A
H01L 21/027　H01L 21/30　515D

請求項の数 4　(全 31 頁)

(21)出願番号　特願平6-6146
(22)出願日　平成6年1月25日(1994.1.25)
(65)公開番号　特開平6-300973
(43)公開日　平成6年10月28日(1994.10.28)
審査請求日　平成13年1月24日(2001.1.24)
審判番号　不服2003-13325(P2003-13325/J1)
審判請求日　平成15年7月11日(2003.7.11)
(31)優先権主張番号　009284
(32)優先日　平成5年1月26日(1993.1.26)
(33)優先権主張国　米国(US)
(31)優先権主張番号　134505
(32)優先日　平成5年10月8日(1993.10.8)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　594014937
エイ・エス・エム・エル・ユー・エス・インコーポレイテッド
ＡＳＭＬ　ＵＳ、　ＩＮＣ.
アメリカ合衆国、０６８９７　コネチカット州、ウィルトン、ダンベリー・ロード、７７
(74)代理人　100064746
弁理士　深見　久郎
(74)代理人　100085132
弁理士　森田　俊雄
(74)代理人　100096781
弁理士　堀井　豊

最終頁に続く

(54)【発明の名称】反射屈折縮小光学系

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
物体空間の開口数を有する物体面と像面開口数を有する像面とを有する反射屈折縮小光学系であって、長い共役側端部から短い共役側端部までに、
第１のダブレットと、
第１の正のレンズと、
第２の正のレンズと、
シェルと、
第３の正のレンズと、
第１の負のレンズと、
第４の正のレンズと、
第２の負のレンズと、
ビームスプリッタキューブと、
第１の４分の１波長板と、
凹面鏡と、
第２の４分の１波長板と、
第５の正のレンズと、
第２のダブレットと、
第６の正のレンズと、
第３のダブレットとを含み、

系に入射するビームが前記第１のダブレット、前記第１の正のレンズ、前記第２の正のレンズ、前記シェル、前記第３の正のレンズ、前記第１の負のレンズ、前記第２の負のレンズ、前記ビームスプリッタキューブ、および前記第１の４分の１波長板を通過し、前記凹面鏡に反射されて逆方向に前記第１の４分の１波長板および前記ビームスプリッタキューブを通過し、前記第２の４分の１波長板、前記第５の正のレンズ、前記第２のダブレット、前記第６の正のレンズ、および前記第３のダブレットを通過し、像面開口数が０．７であるよう配置され、

像面は物体面と平行である、反射屈折縮小光学系。

【請求項２】

前記シェルと前記第３の正のレンズとの間に置かれる偏向鏡をさらに含む、請求項１に記載の縮小光学系。

【請求項３】

物体空間の開口数を有する物体面と像面開口数を有する像面とを有する反射屈折縮小光学系であって、長い共役側端部から短い共役側端部までに、

第１のダブレットと、

第２のダブレットと、

第１の正のレンズと、

第２の正のレンズと、

第１の負のレンズと、

第３の正のレンズと、

第２の負のレンズと、

ビームスプリッタキューブと、

第１の４分の１波長板と、

凹面鏡と、

第２の４分の１波長板と、

第４の正のレンズと、

第３のダブレットと、

第５の正のレンズと、

シェルと、

第６の正のレンズとを含み、

系に入射するビームが前記第１のダブレット、前記第２のダブレット、前記第１の正のレンズ、前記第２の正のレンズ、前記第１の負のレンズ、前記第３の正のレンズ、前記第２の負のレンズ、前記ビームスプリッタキューブ、および前記第１の４分の１波長板を通過し、前記凹面鏡に反射されて逆方向に前記第１の４分の１波長板および前記ビームスプリッタキューブを通過し、前記第２の４分の１波長板、前記第４の正のレンズ、前記第３のダブレット、前記第５の正のレンズ、前記シェル、および前記第６の正のレンズを通過し、像面開口数が０．７であるよう配置され、

像面は物体面と平行である、反射屈折縮小光学系。

【請求項４】

前記第１の正のレンズと前記第２の正のレンズとの間に置かれる偏向鏡をさらに含む、請求項３に記載の縮小光学系。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の背景】

この発明は一般に、半導体の製造において使用される光学系に関し、より特定的には、比較的高い開口数を有する、暗くない反射屈折縮小光学系に関する。

【０００２】

【関連技術の説明】

半導体は通常、種々のフォトリソグラフィー技術を用いて製造される。半導体で用いられる回路は、レチクルから半導体チップに複写される。この複写はしばしば、光学系を使用

することによって達成される。これらの光学系の設計は複雑なことが多く、半導体チップ上に置かれる、小さくなる一方の構成要素を複写するのに必要な所望の解像力を得るのが難しい。したがって、０．３５ミクロンを下回る、非常に微細な構成要素の形状を複写することができる光学系を開発するために多大な努力がなされてきた。非常に微細な構成要素の形状を複写できる光学系を開発する必要性に加えて、開口数を増すことによって系の性能を高める必要がある。というのは開口数を増すと、光学系の解像度がより高くなるからである。

【０００３】

この発明の光学系に類似するものが、１９９０年９月４日にウィリアムスン（Williamson）に発行された「縮小光学系」（Optical Reduction System）と題される米国特許第４，９５３，９６０号に開示されている。そこに開示されるのは、０．４５の開口数を有し、２４８ナノメートルの範囲で動作する縮小光学系である。別の類似した光学系は、１９９２年２月１８日にシンフ（Singh ）らに発行された「高分解能の縮小用反射屈折リレーレンズ」（High Resolution Reduction Catadioptric Relay Lens ）と題される、米国特許第５，０８９，９１３号に開示されている。それに開示されるのは、２４８ナノメートルに制限されたスペクトル波長を有し、かつ０．６の開口数を有する光学系である。

【０００４】

これらの先行技術の光学系はその意図される目的のためには十分に機能するが、開口数を高めることによって系の性能を向上する必要性は増大する一方である。したがって、比較的大きなスペクトル波長で、許容可能な系の性能を実現し、かつ比較的高い開口数を有する光学系が必要とされている。

【０００５】

【発明の概要】

この発明は、対象物即ち長い共役側端部から、縮小像即ち短い共役側端部までに、第１のレンズ群と、第２のレンズ群と、ビームスプリッタキューブと、実質的にまたはほぼ同心の凹面鏡と、第３のレンズ群とを有する反射屈折縮小光学系を含む。凹面鏡は、実質的にほぼ単位倍率で動作する。これによって、鏡によってもたらされる収差、およびビームスプリッタキューブに入射するビームの直径が減じられる。凹面鏡の前方にある第１および第２のレンズ群の屈折力は、無限遠の入射ひとみを凹面鏡またはその近傍にある開口絞りに結像するのに十分なだけである。凹面鏡の後方の第３のレンズ群は、開口絞りを無限遠の射出ひとみに投影するのに加えて、光学系の対象物から像までの実質的な縮小を行う。非球面凹面鏡を用いることによって高次の収差が低減される。

【０００６】

したがって、この発明のある目的は、比較的高い開口数を有する光学系を提供することである。

【０００７】

この発明の別の目的は、このように高い開口数でこれまで得られたものよりも実質的に広いスペクトルバンド幅を有する光学系を提供することである。

【０００８】

この発明の利点は、凹面鏡が実質的に単位倍率により近く動作することである。

【０００９】

この発明の特徴は、凹面鏡前方のレンズ群の屈折力が、凹面鏡またはその近傍にある開口絞りに無限遠の入射ひとみを結像するのに十分なだけであることである。

【００１０】

この発明のさらに別の特徴は、系の対象物から像への縮小のほとんどが凹面鏡後方のレンズ群によって行なわれることである。

【００１１】

これらのおよび他の目的、利点および特徴は、以下の詳細な説明を考慮して容易に明らかになるであろう。

【００１２】

【好ましい実施例の説明】
図１は、この発明の縮小光学系の一実施例を示す。縮小光学系はその長い共役側端部から、対象物即ちレチクル面１０、第１のレンズ群ＬＧ１、偏向鏡２０、第２のレンズ群ＬＧ２、ビームスプリッタキューブ３０、第１の４分の１波長板３２、凹面鏡３４、第２の４分の１波長板３８、および第３のレンズ群ＬＧ３を含む。像は、像面即ちウエハ面５０で結像される。第１のレンズ群ＬＧ１は、シェル１２と、正のレンズ１４および負のレンズ１６を含む空隙ダブレットと、正のレンズ１８とを含む。シェル１２は、屈折力がほとんど０のレンズである。第２のレンズ群ＬＧ２は、正のレンズ２２と、負のレンズ２４および正のレンズ２６を含む空隙ダブレットと、負のレンズ２８とを含む。第３のレンズ群ＬＧ３は、強い正である２つの正のレンズ４０および４２と、シェル４４と、弱い正である２つの正のレンズ４６および４８とを含む。偏向鏡２０は、この発明の動作に不可欠なわけではない。しかしながら、偏向鏡によって対象物の面と像面とを平行にすることができるので、ステップアンドスキャン系でのフォトリソグラフィーを用いる半導体装置の製造という、この発明の光学系で意図される応用には好都合である。

【００１３】
ビームはレチクル即ち長い共役側端部で系に入射し、第１のレンズ群ＬＧ１を通過し、偏向鏡２０によって反射され、第２のレンズ群ＬＧ２を通過する。ビームは、ビームスプリッタキューブ３０に入射し、表面３６から反射され、４分の１波長板３２を通過して、凹面鏡３４によって反射される。次に、ビームは逆方向に４分の１波長板３２、ビームスプリッタキューブ３０、４分の１波長板３８、第３のレンズ群ＬＧ３を通過し、像面即ちウエハ面５０に焦点が合わされる。

【００１４】
鏡の前方のレンズ群ＬＧ１およびＬＧ２の屈折力は、凹面鏡３４またはその近傍の開口絞りに無限遠の入射ひとみを結像するのに十分なだけである。レンズ群ＬＧ１およびＬＧ２を併せた屈折力は、やや負である。シェル１２と空隙ダブレット１４および１６とは、非点収差、像面湾曲、および歪曲を含む収差補正を助ける。凹面鏡３４後方のレンズ群ＬＧ３は、開口絞りを無限遠の射出ひとみに投影するのに加えて、対象物から像寸法への縮小のほとんどを行う。２つの強い正のレンズ４０および４２は、像での高い開口数を与え、射出ひとみを無限遠に結像する。シェル４４はほとんど屈折力を持たない。２つの弱い正のレンズ４６および４８は、高次の収差を補正するのを助ける。

【００１５】
第２のレンズ群ＬＧ２における負のレンズ２４は、ビームスプリッタキューブ３０および凹面鏡３４に向けられる大きく発散するビームを与える。強い正のレンズ２２は、横方向の色補正を与える。レンズ２４および２６を含む空隙ダブレットは、球面収差およびコマ収差を補正するのを助ける。凹面鏡３４は好ましくは非球面であり、したがって高次の収差をさらに低減するのを助ける。

【００１６】
ビームスプリッタキューブ３０によってもたらされる透過の損失は、対象物即ちレチクルを平面偏光で照射し、かつビームスプリッタキューブ３０と凹面鏡３４との間に真の４分の１波長板３２を設けることによって最小になる。真の４分の１波長板とは、ＳおよびＰ偏光状態の間で４分の１波長分位相の遅れをもたらす複屈折材料の厚さを有するものを意味する。これは、２分の１＋４分の１波長の整数倍またはその位相の遅れが４分の１波長だけ異なる材料の２つの厚さを有するものとは大きく異なる。入射角の大きなばらつきという悪影響は、このような真の０次波長板を用いることによって、および入射面における像面寸法を制限することによって高い開口数で最小になる。さらに、凹面鏡３４およびビームスプリッタキューブ３０後方のレンズ群ＬＧ３における開口数を増すことによって、これらの素子において最大の入射角度のばらつきが認められない。

【００１７】
しかしながら、約０．５を上回る開口数で平面偏光を使用すると、結像の際に小さいがそれとわかる非対称をもたらす。この発明において、これは、ビームスプリッタキューブ３

０を最後に通過した後に第２の４分の１波長板３８を導入し、平面偏光を円偏光に変換することによって効果的に除去できる。この円偏光は、その結像動作においては偏光されていない光と区別できない。

【００１８】

図１に示される光学系は、４対１の縮小率で動作するように設計される。したがって、像空間における開口数は、０．７から４のファクタだけ低減されて、対象物すなわちレチクルにおいて０．１７５になる。第１のレンズ群ＬＧ１を出る際に、凹面鏡３４の近傍の系の開口絞りに無限遠の入射ひとみを結像するためにレンズ群ＬＧ１において必要な正の屈折力の結果、開口数は０．１２に低減される。第２のレンズ群ＬＧ２を出てビームスプリッタに入射する際の開口数は、０．１９である。これは、第２のレンズ群ＬＧ２の全体の負の屈折力によって、物体空間の開口数０．１７５に非常に類似している。これは、ビームスプリッタキューブに入射する際の開口数が典型的には０に近い、またはほとんどコリメートされる先行技術の系とは対照的である。凹面鏡３４はほとんど同心であるので、それから反射されるビームの開口数は、０．１９から０．３５にわずかに増加する。第３のレンズ群ＬＧ３は、ウエハ面即ち像面５０において開口数を２倍にして、その最終値を０．７にする。

【００１９】

この発明は、負の第２の群ＬＧ２および強い正の第３のレンズ群ＬＧ３によってビームスプリッタキューブのエッジによる妨害なく、比較的高い開口数を達成する。この発明において板状のビームスプリッタではなくビームスプリッタキューブ３０を用いることが重要であるのは、約０．４５を上回る開口数ではビームスプリッタキューブの方がより優れた性能を与えるからである。ガラスの屈折率によってキューブ内の開口数が低減される上に、傾斜板ビームスプリッタではビームスプリッタに入射する非平行ビームにおいてもたらされるであろう収差がない。

【００２０】

この発明に従う、図１に示されるレンズ系に関する構成データは、以下の表１～表３で与えられる。

【００２１】

【表１】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
10	無限遠		63.3853			
12	-158.7745	-177.8880	15.0000	124.0478	131.7725	シリカ
空間			36.1130			
14	-556.6911	-202.0072	22.2126	148.3881	152.5669	シリカ
空間			38.7188			
16	-183.7199	-558.8803	15.0000	156.5546	166.5750	シリカ
空間			10.0674			
18	427.2527	-612.2450	28.8010	177.4010	179.0292	シリカ
空間			132.3320			
20	無限遠		-74.0000	184.6402		反射
22	-240.4810	2050.9592	-33.3135	188.4055	185.3395	シリカ
空間			-29.3434			
24	421.7829	-145.6176	-12.0000	175.5823	169.0234	シリカ
空間			-4.2326			
26	-150.4759	472.0653	-46.5091	171.4244	169.9587	シリカ
空間			-2.0000			

【００２２】
【表２】

素子番号	曲率半径 (mm)		厚さ (mm)	開口直径 (mm)		ガラス
	前	後		前	後	
28	-1472.2790	-138.2223	-15.0000	165.3586	154.8084	シリカ
空間			-27.2060			
30	無限遠	無限遠	-91.8186	155.6662	253.0917	シリカ
36	無限遠			253.0917		反射
30	無限遠	無限遠	91.8186	253.0917	253.0917	シリカ
空間			2.0000			
32	無限遠	無限遠	6.0000	185.8693	186.8401	シリカ
空間			17.9918			
絞り				188.0655		
34	非球面		-17.9918	188.0655		反射
32	無限遠	無限遠	-6.0000	183.5471	180.1419	シリカ
空間			-2.0000			
30	無限遠	無限遠	-91.8186	178.3346	149.2832	シリカ
30	無限遠	無限遠	-70.000	149.2832	128.8604	シリカ
空間			-2.0000			
38	無限遠	無限遠	-4.5000	127.9681	126.6552	シリカ

【００２３】
【表３】

素子番号	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	厚さ (mm)	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	ガラス
空間			-0.7500			
40	-175.1330	1737.4442	-17.7754	121.4715	118.2689	シリカ
空間			-0.7500			
42	-108.8178	-580.1370	-18.2407	104.5228	97.7967	シリカ
空間			-0.7500			
44	-202.2637	-86.6025	-31.1216	91.7061	57.4968	シリカ
空間			-2.3507			
46	-122.1235	-488.7122	-17.9476	56.4818	41.1675	シリカ
空間			-0.2000			
48	-160.8506	-360.1907	-6.1500	39.4528	33.5764	シリカ
空間			-4.000			
50	無限遠			26.5019		

【００２４】
表３の素子番号５０の欄を参照して、開口直径が２６．５０１９ｍｍとなっている。この開口は像面寸法に直すと約２６×５ｍｍになる。すなわち、この発明によれば、２６×５ｍｍの像面に０．３５ミクロンを下回るパターンを焼付けることができる。
【００２５】
凹面鏡３４は以下の式に従う非球面の反射表面を有する。
【００２６】
【数１】

$$Z = \frac{(CURV)Y^2}{1+\left(1-(1+k)(CURV)^2Y^2\right)^{1/2}} + (A)Y^4 + (B)Y^6 + (D)Y^{10} + (E)Y^{12} + (F)Y^{14}$$

【００２７】

ここで定数は以下のとおりである。
ＣＵＲＶ＝－０．００２８９０５１
Ｋ　　＝　０．０００００００
Ａ　　＝　６．０８９７５　×　１０$^{-11}$
Ｂ　　＝　２．６４３７８　×　１０$^{-14}$
Ｃ　　＝　９．８２２３７　×　１０$^{-19}$
Ｄ　　＝　７．９８０５６　×　１０$^{-23}$
Ｅ　　＝－５．９６８０５　×　１０$^{-27}$
Ｆ　　＝　４．８５１７９　×　１０$^{-31}$
表１～表３の構成に従うレンズは、２４８．４ナノメートルを中心とするビームに関して最適化される。石英ガラスの単一の屈折材料および屈折力の大部分が、図１に示される実施例のスペクトルバンド幅を、約１０ピコメートルつまり０．０１ナノメートルに制限する。これは、線の細められたフッ化クリプトンエキシマレーザ光源のために十分なスペクトルバンド幅である。図１に示される実施例は、石英ガラスが十分に透過させるいかなる波長に関しても最適化され得る。

【００２８】

より広いスペクトルバンド幅は、分散の異なる２つの光学材料を用いることによって達成され得る。この発明の第２の実施例は、図２に示される。第２の実施例に係る光学系はその長い共役側端部から、対象物即ちレチクル面１０、レンズ群ＬＧ４、偏向鏡１２２、レンズ群ＬＧ５、表面１３８を有するビームスプリッタキューブ１３２、第１の４分の１波長板１３４、凹面鏡１３６、第２の４分の１波長板１４０、レンズ群ＬＧ６を含む。像は、像面即ちウエハ面５０で結像される。レンズ群ＬＧ４は、負のレンズ１１２および正のレンズ１１４を含む空隙ダブレットと、弱い正のレンズ１１６と、正のレンズ１１８とシェル１２０とを含む。レンズ群ＬＧ５は、正のレンズ１２４、負のレンズ１２６、正のレンズ１２８、および負のレンズ１３０を含む。レンズ群ＬＧ６は、２つの正のレンズ１４２と、正のレンズ１４４および負のレンズ１４６を含む「接合された」ダブレットと、正のレンズ１４８と、シェル１５０および正のレンズ１５２を含む「接合された」ダブレットとを含む。

【００２９】

この第２の実施例は、レンズ群ＬＧ４の個々の正のレンズの１つ、レンズ群ＬＧ５の負のレンズ、およびレンズ群ＬＧ６の２つの正のレンズにフッ化カルシウムを用いる。

【００３０】

この発明の図２に示される第２の実施例の構成データは、以下の表４～表６に示される。

【００３１】

【表４】

素子番号	曲率半径 (mm)		厚さ (mm)	開口直径 (mm)		ガラス
	前	後		前	後	
10	無限遠		60.4852			
112	-205.5158	539.1791	15.2158	124.0926	137.3346	シリカ
空間			8.8054			
114	2080.9700	-210.6539	32.4984	142.6149	151.7878	シリカ
空間			1.2676			
116	310.4463	700.3748	40.7304	162.4908	165.2126	CaF1
空間			0.5000			
118	634.1820	-798.8523	27.5892	165.4595	166.4747	シリカ
空間			0.5000			
120	1480.0597	1312.1247	25.4322	168.7516	164.7651	シリカ
空間			136.2343			
122	無限遠		-74.0000	161.9590		反射
124	-761.9176	1088.9351	-19.2150	160.3165	159.2384	シリカ
空間			-19.9465			

【００３２】
【表５】

素子番号	曲率半径 (mm)		厚さ (mm)	開口直径 (mm)		ガラス
	前	後		前	後	
126	648.8361	-202.5872	-12.0000	155.1711	153.0635	CaFl
空間			-7.6304			
128	-400.4276	458.5060	-25.8769	153.0635	153.8055	シリカ
空間			-2.0000			
130	-818.0922	-168.5034	-27.5927	152.6663	147.5200	CaFl
空間			-20.5014			
132	無限遠	無限遠	-91.7553	148.6158	252.7349	シリカ
138	無限遠			252.7349		反射
132	無限遠	無限遠	91.7553	252.7349	252.7349	シリカ
空間			2.0000			
134	無限遠	無限遠	6.0000	185.8070	187.0026	シリカ
空間			18.1636			
絞り				188.5681		
136	非球面		-18.1636	188.5681		反射
134	無限遠	無限遠	-6.0000	184.2566	181.1084	シリカ
空間			-2.0000			
132	無限遠	無限遠	-91.7553	179.3838	151.7747	シリカ

【００３３】
【表６】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
132	無限遠	無限遠	-70.0000	151.7747	133.3985	シリカ
空間			-2.0000			
140	無限遠	無限遠	-4.5000	132.5690	131.3876	シリカ
空間			-0.5000			
142	-112.0665	-597.6805	-21.4866	123.4895	119.2442	シリカ
空間			-0.5000			
144	-116.3137	282.3140	-24.0940	107.8451	101.2412	CaFl
146	282.3140	-66.5293	-13.7306	101.2412	72.6862	シリカ
空間			-2.6346			
148	-77.2627	-374.4800	-17.9594	72.0749	62.7659	シリカ
空間			-0.5452			
150	-130.1381	-57.1295	-20.8147	58.9696	37.4889	シリカ
152	-57.1295	-7305.8777	-6.1425	37.4889	34.3156	CaFl
空間			-4.0000			
像	無限遠			26.4992		

【００３４】
ここで表３の下の式で用いられる非球面鏡１３４に関する定数は以下のとおりである。
【００３５】
ＣＵＲＶ＝－０．００２８６７４４
Ｋ　　＝　０．０００００００
Ａ　　＝－１．９２０１３　×　１０$^{-09}$
Ｂ　　＝－３．５０８４０　×　１０$^{-14}$
Ｃ　　＝　２．９５９３４　×　１０$^{-19}$
Ｄ　　＝－１．１０４９５　×　１０$^{-22}$
Ｅ　　＝　９．０３４３９　×　１０$^{-27}$
Ｆ　　＝－１．３９４９４　×　１０$^{-31}$
この第２の実施例は、約２００ピコメートルつまり０．２ナノメートルのスペクトルバンド幅を有し、かつ１９３．３ナノメートルを中心とするビームに関して最適化される。やや細くされたフッ化アルゴンエキシマレーザは光源として十分である。さらに、屈折材料の両方が十分に透過させるいかなる波長に関してもこの設計は最適化され得る。材料の分

散が減少するにつれて、バンド幅は一般により長い波長に関して増大する。たとえば、約２４８．４ナノメートルであれば、このような２つの材料での設計は、少なくとも４００ピコメートル、０．４ナノメートルのバンド幅で動作する。

【００３６】

波長が３６０ナノメートルよりも長くなると、より広範囲の光学ガラスが十分な透過を有し始める。図３に示される第３の実施例は、このガラスの選択が広がったことおよび分散がさらに低減されたことを活用する。その長い共役側端部から、これは対象物またはレチクル面１０、レンズ群ＬＧ７、偏向鏡２２２、レンズ群ＬＧ８、表面２３８を有するビームスプリッタキューブ２３２、第１の４分の１波長板２３４、凹面鏡２３６、第２の４分の１波長板２４０、およびレンズ群ＬＧ９を含む。像は、像面またはウエハ面５０で結像される。レンズ群ＬＧ７は、負のレンズ２１２および正のレンズ２１４を含む空隙ダブレット、正のレンズ２１６および負のレンズ２１８を含む空隙ダブレット、ならびに正のレンズ２２０を含む。レンズ群ＬＧ８は、正のレンズ２２４、負のレンズ２２６、正のレンズ２２８、および負のレンズ２３０を含む。レンズ群ＬＧ９は、正のレンズ２４２、正のレンズ２４４および負のレンズ２４６を含む接合されたダブレット、正のレンズ２４８、ならびにシェル２５０および正のレンズ２５２を含む接合されたダブレットを含む。

【００３７】

図３に示される第３の実施例の構成データは、以下の表７～表９に示される。

【００３８】

【表７】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
10	無限遠		59.2960			
212	-620.7809	361.8305	20.2974	125.9406	134.7227	PBM2Y
空間			2.6174			
214	515.7935	-455.1015	39.8858	135.3384	145.6015	PBM2Y
空間			14.7197			
216	431.3189	-239.4002	36.9329	155.6269	157.3014	BSL7Y
空間			0.5000			
218	-259.6013	685.3286	26.3534	156.9363	162.2451	PBM2Y
空間			1.4303			
220	361.5709	-1853.2955	23.3934	168.7516	165.1801	BAL15Y
空間			131.8538			
222	無限遠		-77.8469	169.9390		反射
224	-429.2950	455.4247	-32.3086	173.0235	171.1102	PBL6Y
空間			-27.6206			
226	401.0363	-180.0031	-12.0000	159.3555	154.7155	BSL7Y
空間			-5.6227			

【００３９】
【表８】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
228	-258.4722	1301.3764	-26.1321	154.7155	154.1517	PBM8Y
空間			-2.0000			
230	-1282.8931	-180.2226	-12.0000	153.1461	149.4794	BSL7Y
空間			-19.7282			
232	無限遠	無限遠	-91.7349	150.4585	252.6772	シリカ
238	無限遠			252.6772		反射
232	無限遠	無限遠	91.7349	252.6772	252.6772	シリカ
空間			2.0000			
234	無限遠	無限遠	6.0000	185.6435	186.7758	シリカ
空間			18.2715			
絞り				188.1745		
236	非球面		-18.2715	188.1745		反射
234	無限遠	無限遠	-6.0000	183.6393	180.1377	シリカ
空間			-2.0000			
232	無限遠	無限遠	-91.7349	178.3236	147.9888	シリカ
232	無限遠	無限遠	-70.0000	147.9888	126.9282	シリカ
空間			-2.0000			

【００４０】
【表９】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
240	無限遠	無限遠	-4.5000	126.0289	124.6750	シリカ
空間			-0.5000			
242	-119.8912	-610.6840	-18.6508	117.5305	113.4233	BSM51Y
空間			-0.5000			
244	-114.1327	384.9135	-21.1139	102.6172	96.4137	BSL7Y
246	384.9135	-70.2077	-13.0576	96.4137	71.1691	PBL26Y
空間			-2.8552			
248	-85.7858	-400.3240	-16.9147	70.5182	61.2633	BSM51Y
空間			-0.8180			
250	-151.5235	-54.0114	-19.5810	57.6234	37.3909	BSM51Y
252	-54.0114	-2011.1057	-6.3947	37.3909	34.2119	PBL6Y
空間	無限遠		-4.0000	26.5002		
像						

【００４１】
ここで表３の下の式で用いられる非球面鏡２３４に関する定数は以下のとおりである。
【００４２】
ＣＵＲＶ＝－０．００２９１６４８
Ｋ　　＝　０．０００００００
Ａ　　＝－１．２７２８５　×　１０$^{-9}$
Ｂ　　＝－１．９２８６５　×　１０$^{-14}$
Ｃ　　＝　６．２１８１３　×　１０$^{-19}$
Ｄ　　＝－６．８０９７５　×　１０$^{-23}$
Ｅ　　＝　６．０４２３３　×　１０$^{-27}$
Ｆ　　＝　３．６４４７９　×　１０$^{-32}$
この第３の実施例は、３６５．５ナノメートルの波長を中心として、８ナノメートルのスペクトルバンド幅で動作する。このスペクトルバンド幅のビームは、Ｉライン波長でろ波された水銀アークランプによって与えられ得る。この第３の実施例において用いられる石英ガラス以外の光学ガラスは、一般にＩラインガラスとして既知である。これらの光学ガ

ラスは、水銀Ｉライン波長で最小の吸収またはソラリゼーション効果を有する。これらのガラスは、アメリカ合衆国、０８８８７６－３５１９、ニュージャージー州（New Jersey）、ソマビル市（Somerville）、ブランチバーグタウンシップ（Branchburg Township ）、コロンビアロード（Columbia Road ）５０に所在するオハラコーポレイション（O'Hara Corporation）の一般的に入手可能なガラスカタログに見い出されるだろう。

【００４３】

図４は、この発明の縮小光学系の第４の実施例を示す。この実施例は、０．６３の開口数を有し、２４８．４ナノメートルの波長を中心として、３００ピコメートル、好ましくは１００ピコメートルのスペクトルバンド幅で動作し得る。第４実施例の光学系は共役側端部から、対象物即ちレチクル面４１０、第１のレンズ群ＬＧ１、偏向鏡４２０、第２のレンズ群ＬＧ２、ビームスプリッタキューブ４３０、第１の４分の１波長板４３２、凹面鏡４３４、第２の４分の１波長板４３８、および第３のレンズ群ＬＧ３を含む。像は、像面即ちウエハ面４５０で結像する。

【００４４】

第１のレンズ群ＬＧ１は、シェル４１２と、正のレンズ４１４および負のレンズ４１６を含む空隙ダブレットと、正のレンズ４１８とを含む。第２のレンズ群ＬＧ２は、正のレンズ４２２と、負のレンズ４２４および正のレンズ４２６を含む空隙ダブレットと、負のレンズ４２８とを含む。第３のレンズ群ＬＧ３は、２つの正のレンズ４４０および４４２と、シェル４４４と、２つの正のレンズ４４６および４４８とを含む。やはり、図１に示される実施例のように、図４の偏向鏡４２０はこの発明の動作に不可欠なわけではないが、対象物４１０と像面４５０とが互いに平行になるのを可能にし、フォトリソグラフィーを用いる半導体装置の製造に好都合である。

【００４５】

図４に示される第４の実施例の構成データは、以下の表１０～表１４に示される。

【００４６】

【表１０】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
410	無限遠		63.3853			
412	-183.5661 CC	-215.7867 CX	17.0000	122.8436	130.6579	シリカ
空間			46.6205			
414	-601.1535 CC	-230.9702 CX	21.4839	149.1476	153.3103	シリカ
空間			68.8075			
416	-195.1255 CC	-345.4510 CX	15.0000	161.6789	170.1025	シリカ
空間			3.0000			
418	435.8058 CX	-1045.1785 CX	24.9351	177.4520	178.2672	シリカ
空間			130.0000			
		偏心 (1)				

【００４７】
【表１１】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
420	無限遠		-64.5000	180.3457		反射
422	-210.7910 CX	380.1625 CX	-43.1418	181.6672	178.0170	シリカ
空間			-15.8065			
424	300.1724 CC	-123.4555 CC	-12.0000	166.7278	153.3103	シリカ
空間			-3.8871			
426	-126.8951 CX	972.6391 CX	-41.3263	154.8530	151.8327	シリカ
空間			-1.5000			
428	-626.4905 CX	-116.6456 CC	-12.0000	147.6711	136.1163	シリカ
空間			-31.8384			

【００４８】
【表１２】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
430	無限遠	無限遠	-74.0000	137.2448	200.1127	シリカ
		偏心(2)				
436	無限遠			200.1127		反射
430	無限遠	無限遠	74.0000	200.1127	200.1127	シリカ
空間			2.0000			
432	無限遠	無限遠	6.0000	148.6188	149.0707	シリカ
空間			14.4638			
絞り				149.6392		
434	非球面		-14.4638	149.6392		反射
432	無限遠	無限遠	-6.0000	144.8563	141.2737	シリカ

【００４９】
【表１３】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
空間			-2.0000			
430	無限遠	無限遠	-74.0000	139.3606	117.3979	シリカ
		偏心(3)				
430	無限遠	無限遠	-61.0000	117.3979	100.5074	シリカ
空間			-2.0000			
438	無限遠	無限遠	-4.5000	99.6617	98.4157	シリカ
空間			-1.2000			
440	-157.8776 CX	2282.2178 CX	-13.7501	94.8267	91.8775	シリカ
空間			-1.2000			
442	-94.0059 CX	-466.6659 CC	-13.4850	82.8663	78.1418	シリカ

【００５０】
【表１４】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
空間			-1.2000			
444	-147.2485 CX	-77.8924 CC	-22.2075	72.7262	50.6555	シリカ
空間			-3.2091			
446	-159.2880 CX	-519.4850 CC	-13.8321	49.5648	39.0473	シリカ
空間			-0.2000			
448	-129.3683 CX	-426.7350 CC	-6.1500	37.3816	32.4880	シリカ
空間	像距離 =		-4.0000			
450	像	無限遠			26.5003	

【００５１】
表３の下の数１で用いられる非球面鏡４３４に関する定数は以下のとおりである。
【００５２】
ＣＵＲＶ＝－０．００３３２６１４
Ｋ　　＝　０．０００００００
Ａ　　＝－４．３２２６１Ｅ－１０
Ｂ　　＝　３．５０２２８Ｅ－１４
Ｃ　　＝　７．１３２６４Ｅ－１９
Ｄ　　＝　２．７３５８７Ｅ－２２
この第４の実施例は、２４８．４ｎｍを中心とするビームに関して最適化される。石英ガラスである単一の屈折材料および屈折力の大部分が、図４に示される実施例のスペクトルバンド幅を制限する。しかしながら、第４の実施例の最大開口数は、初めの３つの実施例の０．７ではなく０．６３なので、第４の実施例は３００ピコメートル、好ましくは１００ピコメートルのスペクトル全幅半値バンド幅にわたる許容可能な結像を与える。したが

って、前者においては狭くされない、後者においては狭くされるエキシマレーザが、照射源のために用いられ得る。

【００５３】

第４の実施例のＬＧ１およびＬＧ２の正味の屈折力が、弱い負である最初の３つの実施例とは異なり、弱い正である点において、第４の実施例は、最初の３つの実施例とは異なる。さらに、このことは、ＬＧ１とＬＧ２を加えた全体の結像力が正であっても負であってもよく、それでも凹面鏡２３４でまたはその近傍で無限遠の入射ひとみが結像できることを示している。

【００５４】

図５は、この発明の縮小光学系の第５の実施例を示す。好ましくは、この実施例は０．６０の開口数を有し、２４８．４ナノメートルを中心とし、３００ピコメートルのスペクトルバンド幅で動作する。第５の実施例に係る光学系は長い共役側端部から、対象物即ちレチクル面５１０、第１のレンズ群ＬＧ１、偏向鏡５２０、第２のレンズ群ＬＧ２、ビームスプリッタキューブ５３０、第１の４分の１波長板５３２、凹面鏡５３４、第２の４分の１波長板５３８、および第３のレンズ群ＬＧ３を含む。像は、像面またはウエハ面で結像される。

【００５５】

第１のレンズ群ＬＧ１は、シェル５１２と、正のレンズ５１４および負のレンズ５１６を含む空隙ダブレットと、正のレンズ５１８とを含む。第２のレンズ群ＬＧ２は、正のレンズ５２２と、負のレンズ５２４および正のレンズ５２６を含む空隙ダブレットと、負のレンズ５２８とを含む。第３のレンズ群ＬＧ３は、２つの正のレンズ５４０および５４２と、シェル５４４と、２つの正のレンズ５４６および５４８とを含む。やはり、図１に示される実施例のように、図５の偏向鏡５２０はこの発明の動作に不可欠なわけではないが、対象物の面と像面とが互いに平行になるのを可能にし、フォトリソグラフィーを用いる半導体装置の製造に好都合である。

【００５６】

図５に示される第５の実施例の構成データは、以下の表１５～表１９に示される。

【００５７】

【表１５】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
510	無限遠		62.7514			
512	-136.1154 CC	-152.5295 CX	16.8300	120.7552	129.4354	シリカ
空間			4.5206			
514	-270.1396 CC	-191.8742 CX	20.5341	132.9152	139.0377	シリカ
空間			90.8476			
516	-188.9000 CC	-284.7476 CX	17.5000	156.1938	165.6567	シリカ
空間			2.9700			
518	433.8174 CX	-841.5599 CX	25.8293	173.8279	174.8334	シリカ
空間			149.4549			
			偏心(1)			

【００５８】
【表１６】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
520	無限遠		-61.0000	177.2183		反射
522	-190.3251 CX	-8413.4836 CC	-34.4584	178.5071	174.2260	シリカ
空間			-51.5487			
524	690.5706 CC	-146.4997 CC	-11.8800	150.4109	141.8021	シリカ
空間			-10.6267			
526	-265.9886 CX	1773.5314 CX	-24.1851	142.1592	141.2400	シリカ
空間			-1.5000			
528	-244.9899 CX	-142.8558 CC	-11.8800	139.3290	133.8967	シリカ
空間			-21.6411			
530	無限遠	無限遠	-71.2800	134.3115	189.7826	シリカ

【００５９】
【表１７】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
		偏心(2)				
536	無限遠			189.7826		反射
530	無限遠	無限遠	71.2800	189.7826	189.7826	シリカ
空間			1.9800			
532	無限遠	無限遠	5.9400	142.3429	142.6707	シリカ
空間			18.5263			
絞り				143.5034		
534	非球面		-18.5263	143.5034		反射
532	無限遠	無限遠	-5.9400	134.2788	130.9398	シリカ
空間			-1.9800			

【００６０】
【表１８】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
530	無限遠	無限遠	-71.2800	130.1221	111.7247	シリカ
		偏心(3)				
530	無限遠	無限遠	-60.4000	111.7247	96.1353	シリカ
空間			-1.9800			
538	無限遠	無限遠	-4.4550	95.3562	94.2064	シリカ
空間			-1.1880			
540	-127.4561 CX	-1398.8019 CC	-13.0104	90.4737	87.7002	シリカ
空間			-1.1880			
542	-98.8795 CX	-424.1302 CC	-12.2874	80.7016	76.3270	シリカ
空間			-1.1880			

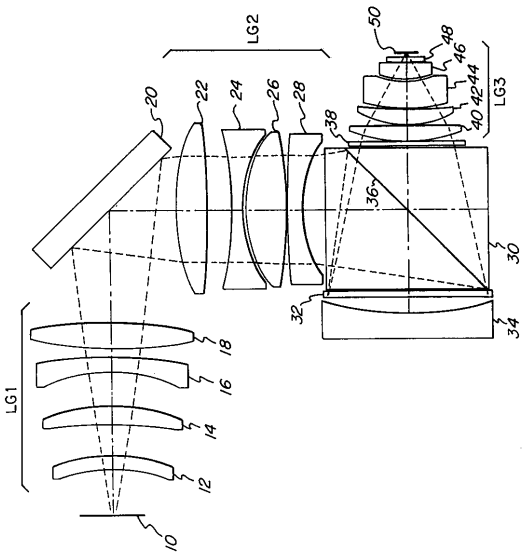
【００６１】
【表１９】

素子番号	曲率半径 (mm) 前	曲率半径 (mm) 後	厚さ (mm)	開口直径 (mm) 前	開口直径 (mm) 後	ガラス
544	-132.0104 CX	-70.9574 CC	-17.8706	71.0789	53.4306	シリカ
空間			-3.1246			
546	-123.1071 CX	-585.4471 CC	-19.9496	52.6417	38.2256	シリカ
空間			-0.1980			
548	-137.8349 CX	-292.6179 CC	-6.0885	36.7251	31.8484	シリカ
空間	像距離 =		-4.0000			
550	像	無限遠			26.5000	

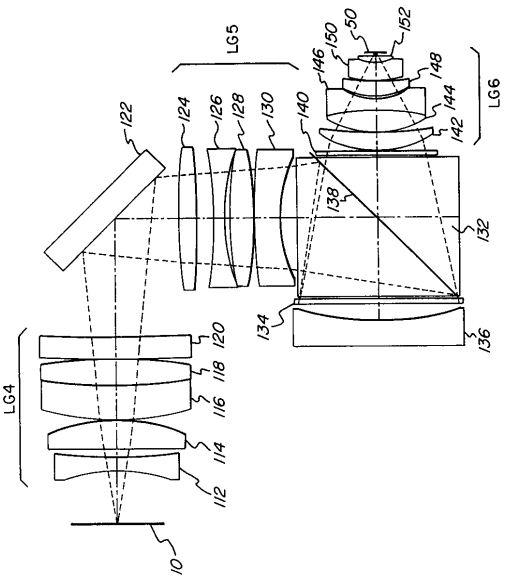
【００６２】
表３の下の数１に用いられる非球面鏡５３４に関する定数は以下のとおりである。
【００６３】
ＣＵＲＶ＝－０．００３２５９９５
Ｋ　　＝　０．０００００００
Ａ　　＝－６．９１７９９Ｅ－１０
Ｂ　　＝　５．２６９５２Ｅ－１５
Ｃ　　＝　６．１００４６Ｅ－１９
Ｄ　　＝　１．５９４２９Ｅ－２２
この第５の実施例は、２４８．４ｎｍを中心とするビームに関して最適化される。石英ガラスである単一の屈折材料および屈折力の大部分が、図５に示される実施例のスペクトルバンド幅を制限する。しかしながら、第５の実施例は、最初の３つの実施例の０．７ではなく０．６の最大開口数を有するので、第５の実施例は３００ピコメートルのスペクトル全幅半値バンド幅にわたる許容可能な結像を与える。したがって、狭くされないエキシマレーザが照射源のために用いられ得る。

【００６４】
第５の実施例は、第５の実施例のＬＧ１およびＬＧ２の正味の屈折力が、最初の３つの実施例のように弱い負ではなく、弱い正である点において、最初の３つの実施例とは異なる。さらに、このことは、ＬＧ１とＬＧ２を加えた全体の結像力が正であっても負であってもよく、それでも凹面鏡５３４でまたはその近傍で無限遠の入射ひとみが結像できることを示している。
【００６５】
好ましい実施例が示され、説明されたが、この発明の範囲および精神を逸脱することなく種々の変更が可能であることが当業者には明らかであろう。
【図面の簡単な説明】
【図１】単一の屈折材料を用いるこの発明の一実施例の概略図である。
【図２】２つの異なる屈折材料を用いるこの発明の別の実施例の図である。
【図３】２つ以上の異なる屈折材料を用いるこの発明のさらに別の実施例の図である。
【図４】この発明の縮小光学系の第４の実施例を示す図である。
【図５】この発明の縮小光学系の第５の実施例を示す図である。
【符号の説明】
ＬＧ１　第１のレンズ群
ＬＧ２　第２のレンズ群
ＬＧ３　第３のレンズ群
３０　ビームスプリッタキューブ
３２　４分の１波長板
３４　凹面鏡
３８　４分の１波長板

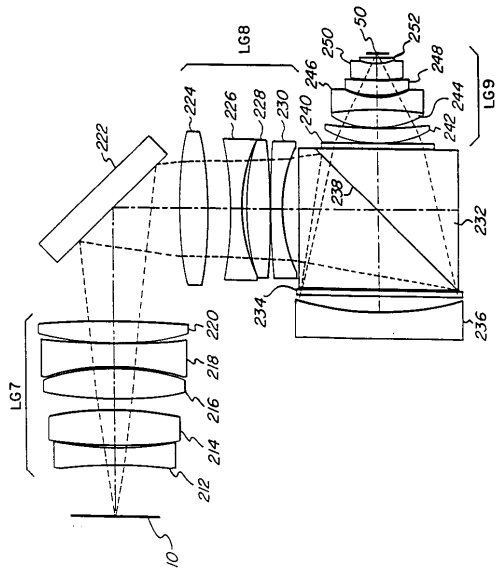
【図１】



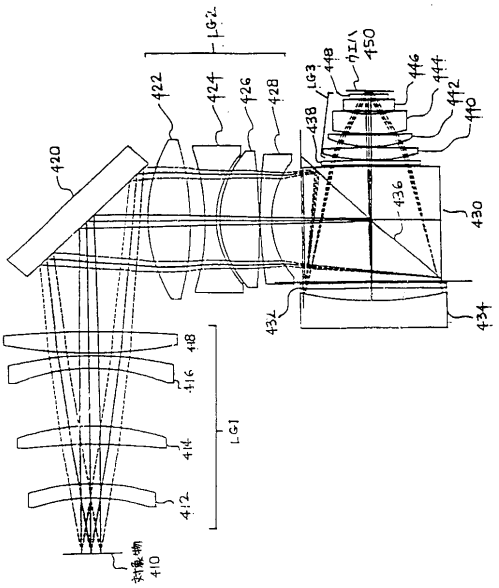
【図２】



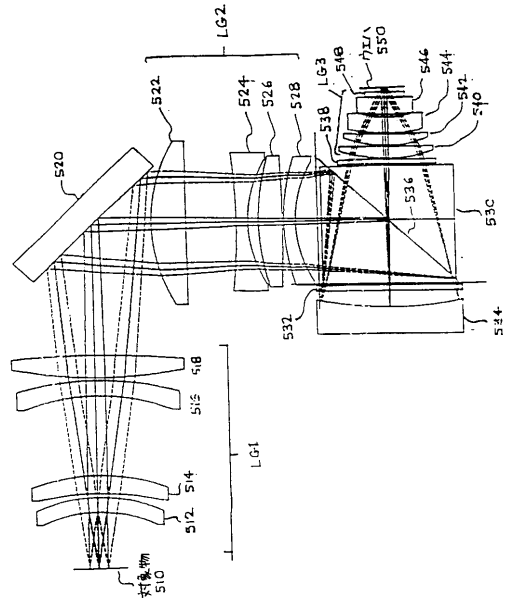
【図３】


LG8
LG9
LG7
50
252
250
248
246
244
242
240
238
224
226
228
230
222
232
234
236
220
218
216
214
212
10

【図４】


LG2
LG3
LG1
450
448
446
444
442
440
438
436
430
434
432
422
424
426
428
420
418
416
414
412
410

【図５】


LG2
LG3
LG1
550
548
546
544
542
540
538
536
534
532
522
524
526
528
520
518
516
514
512
510

フロントページの続き

(72)発明者　デイビッド・ウィリアムソン
イギリス、ダブリュ・アール・１４　４・ディー・ダブリュ　ウースターシャー、ウエスト・マルバーン、ハーコート・ロード、バーノン・コテージ（番地なし）

合議体
審判長　鹿股　俊雄
審判官　辻　徹二
審判官　瀬川　勝久

(56)参考文献　特開平３－２８２５２７（ＪＰ，Ａ）
特開平２－６６５１０（ＪＰ，Ａ）
特開平３－２３５５１６（ＪＰ，Ａ）
特開平４－２３４７２２（ＪＰ，Ａ）