

(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2006-261405

(P2006-261405A)

(43) 公開日 平成18年9月28日(2006.9.28)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H01L 21/027 (2006.01)	H01L 21/30 531A	5F046
G21K 1/06 (2006.01)	G21K 1/06 B	
G21K 5/02 (2006.01)	G21K 1/06 D	
	G21K 1/06 M	
	G21K 5/02 X	
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)		

(21) 出願番号 特願2005-77069 (P2005-77069)
 (22) 出願日 平成17年3月17日 (2005.3.17)

(71) 出願人 000004112
 株式会社ニコン
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
 (74) 代理人 100094846
 弁理士 細江 利昭
 (72) 発明者 押野 哲也
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
 式会社ニコン内
 Fターム(参考) 5F046 GA03 GA14 GA20 GB01

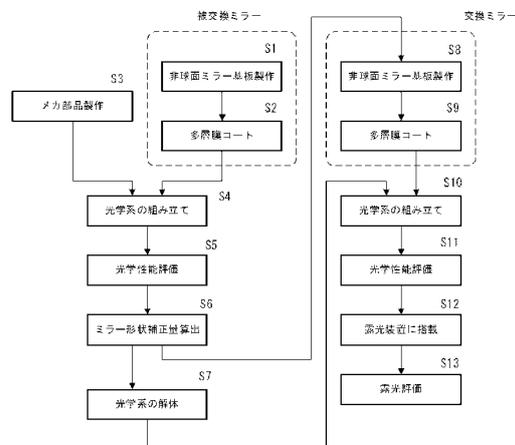
(54) 【発明の名称】 E U V 露光装置用投影光学系の製造方法及び E U V 露光装置

(57) 【要約】

【課題】 所望の光学性能を有する E U V 露光装置用投影光学系の製造方法を提供する。

【解決手段】 投影光学系を構成する複数の非球面ミラーを、設計値に基づいて製造し、製造された非球面ミラーを組み込んで光学系を組み立てる。次に、組み立てられた前記光学系の光学性能を評価する。次に、評価された光学性能に基づいて、前記非球面ミラーの内、新しい非球面ミラーに交換するミラー（被交換ミラー）について、前記光学性能が許容範囲に収まるように、その形状補正量を決定する。次に、前記決定された形状補正量と前記被交換ミラーの形状に基づいて、新しい非球面ミラー（交換ミラー）を製造する。次に、製造された交換ミラーを、前記被交換ミラーと交換する。そして、交換されずに残った非球面ミラーと、交換された非球面ミラーを用いて、投影光学系を製造する。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

以下の工程を有することを特徴とする、EUV露光装置用投影光学系の製造方法。

(1) 投影光学系を構成する複数の非球面ミラーを、設計値に基づいて製造し、製造された非球面ミラーを組み込んで光学系を組み立てる工程

(2) 組み立てられた前記光学系の光学性能を評価する工程

(3) 評価された光学性能に基づいて、前記非球面ミラーの内、新しい非球面ミラーに交換するミラー（被交換ミラー）について、前記光学性能が許容範囲に収まるように、その形状補正量を決定する工程

(4) 前記決定された形状補正量と前記被交換ミラーの形状に基づいて、新しい非球面ミラー（交換ミラー）を製造する工程 10

(5) 製造された交換ミラーを、前記被交換ミラーと交換する工程

(6) 交換されずに残った非球面ミラーと、交換された非球面ミラーを用いて、投影光学系を製造する工程。

【請求項 2】

前記光学系が、実際のEUV露光装置用投影光学系であることを特徴とする請求項 1 に記載のEUV露光装置用投影光学系の製造方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のEUV露光装置用投影光学系の製造方法であって、前記交換ミラーを製造するに際し、当該交換ミラーの反射面の形状と、それに対応する被交換ミラーの基板の反射面となる面の形状を、レーザー干渉形状測定装置で測定し、両者の測定データの差と、前記形状補正量に基づいて、前記被交換ミラーの基板の反射面となる面の形状が目標値になるように加工を行う工程を有することを特徴とするEUV露光装置用投影光学系の製造方法。 20

【請求項 4】

請求項 3 に記載のEUV露光装置用投影光学系の製造方法であって、前記レーザー干渉形状測定装置は参照面を有し、当該参照面のレーザー光反射率が、前記被交換ミラーの反射面のレーザー光反射率より低く、前記交換ミラーの基板の反射面となる面の反射率より高いことを特徴とするEUV露光装置用投影光学系の製造方法。

【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 のうちいずれか 1 項に記載のEUV露光装置用投影光学系の製造方法で製造された投影光学系を有することを特徴とするEUV露光装置。 30

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、EUV露光装置（極端紫外線露光装置とも呼ばれ、本明細書、及び特許請求の範囲においては、波長が50nm以下の紫外線を用いた露光装置をいう）に搭載される投影光学系の製造装置、及びこの方法により製造された投影光学系を有するEUV露光装置に関するものである。

【背景技術】**【0002】**

近年、半導体集積回路の微細化に伴い、光の回折限界によって制限される光学系の解像力を向上させるために、従来の紫外線に代えてこれより短い波長（11～14nm）のEUV光を使用した投影リソグラフィ技術が開発されている（例えば、D.Tichenor, et al, SPIE 2437 (1995) 292参照）。この技術は、最近ではEUV（Extreme UltraViolet）リソグラフィと呼ばれており、従来の波長190nm程度の光線を用いた光リソグラフィでは実現不可能な解像力を得られる技術として期待されている。

【0003】

EUV光の波長領域では、従来のレンズのような透過屈折型の光学素子を使用できず、反射を利用した光学系が使用される。 40

【0004】

EUV露光装置の概要を図3に示す。EUV光源31から放出されたEUV光32は、照明光学系33に入射し、実質的な面光源が形成される。実質的な面光源からの光は、平面ミラー36により偏向された後、マスクM上に細長い円弧状の照明領域を形成する。照明されたマスクMのパターンからの光は、複数のミラー（図3では例示的に6つのミラーM1～M6）からなる投影光学系PLを介して、ウエハW上にマスクパターンの像を形成する。

【0005】

所望のパターンをウエハ上に形成するためには、投影光学系の収差を十分小さくすることが好ましく、特に投影光学系の波面収差（rms値）を波長の1/30以下に、かつパターン歪を線幅の1/10以下に保つと、コントラストの高い微細なパターンを形成することができる。例えば、露光波長が13.5nm、投影光学系のNAが0.25である場合、波面収差を0.5nm（rms）以下に、パターン歪を5nm以下にすると、45nm程度のサイズの良質なレジストパターンを形成することができる。

10

【0006】

このような微小な波面収差およびパターン歪を有する投影光学系を製作するためには、少なくとも極めて高精度な反射面形状を有する非球面ミラーを製作する必要がある。例えば前記投影光学系を製作するためには、ミラーの形状精度を0.1nm（rms）以下にしなければならない。しかし、このようなミラーを作製することは、現在の高精度なミラー製作技術を用いても大変難しい。

20

【0007】

従来の投影光学系の製作工程を図4に示す。最初に投影光学系を構成する非球面ミラーの基板を製作する。基板材料には、熱変形の小さい低熱膨張ガラスを使用することが好ましい。研磨加工と反射面形状計測を交互に実施して、徐々に反射面が所望の形状となるまで研磨加工を繰り返し実施する。非球面基板が完成したら、その表面にEUV光の反射率を増大させるための多層膜コートを施す。このようにして作製した非球面ミラーと並行して作製した光学系メカ部品を用いて、光学系を組み立てる。波面収差等の光学性能を評価しながら、ミラーの位置を調整することによって、投影光学系が完成する。投影光学系をEUV露光装置に搭載して、最後に露光評価を行い、最終的な性能を確認する。

30

【0008】

【特許文献1】特開2000-91209号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

従来の工程で作製した投影光学系は、光学性能評価において所望の光学性能が得られない場合があった。これは主にミラーの形状誤差に起因するものであり、ミラーの位置調整だけでは十分に補正することができない。光学性能評価の結果から、ミラーの形状誤差あるいは光学性能を補正するミラー形状補正量を算出することは可能であるが、多層膜コートを施したミラーの形状を変えることはきわめて難しい。多層膜の中には、ウエットエッチングでは剥離ができないものがある。研磨加工等でミラーから多層膜を剥離すると、ミラーの形状精度が大幅に劣化する。以上のように従来の工程では、ミラーの形状誤差に起因する光学性能を補正することは困難であった。

40

【0010】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、所望の光学性能を有するEUV露光装置用投影光学系の製造方法、及びこの投影光学系を有するEUV露光装置を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

前記課題を解決するための第1の手段は、以下の工程を有することを特徴とするEUV露光装置用投影光学系の製造方法（請求項1）である。

50

- (1) 投影光学系を構成する複数の非球面ミラーを、設計値に基づいて製造し、製造された非球面ミラーを組み込んで光学系を組み立てる工程
- (2) 組み立てられた前記光学系の光学性能を評価する工程
- (3) 評価された光学性能に基づいて、前記非球面ミラーの内、新しい非球面ミラーに交換するミラー（被交換ミラー）について、前記光学性能が許容範囲に収まるように、その形状補正量を決定する工程
- (4) 前記決定された形状補正量と前記被交換ミラーの形状に基づいて、新しい非球面ミラー（交換ミラー）を製造する工程
- (5) 製造された交換ミラーを、前記被交換ミラーと交換する工程
- (6) 交換されずに残った非球面ミラーと、交換された非球面ミラーを用いて、投影光学系を製造する工程。

10

【0012】

本手段においては、投影光学系を構成する複数の非球面ミラーを設計値に基づいて製造した後、これらの非球面ミラーを用いて光学系を組み立て、その光学特性の設計値よりのずれを測定する。そして、交換する非球面ミラーを決定し（予め決定しておいてもよい）、光学特性を設計値とするために必要な形状補正量（交換ミラーと被交換ミラーの形状の差）を決定する。

【0013】

そして、この形状補正量と、被交換ミラーの形状とに基づいて、新しい非球面ミラー（交換ミラー）を製造し、被交換ミラーを交換ミラーに交換して、交換されずに残った非球面ミラーと交換ミラーとを用いて投影光学系を製造する。

20

【0014】

本手段においては、非球面ミラーの形状誤差に起因して目的とする光学特性が得られなかった場合でも、非球面ミラーの形状を修正するのではなく、形状補正量を考慮して新しいミラーを製造し、それに交換しているため、形状修正という手間のかかる工程を省略することができる。

【0015】

前記課題を解決するための第2の手段は、前記第1の手段であって、前記光学系が、実際のEUV露光装置用投影光学系であることを特徴とするもの（請求項2）である。

【0016】

本手段においては、光学特性を検出するのに実際のEUV露光装置用投影光学系を用いているので、より実際の使用状態に近い状態で測定を行うことができる。

30

【0017】

前記課題を解決するための第3の手段は、前記第1の手段であって、前記交換ミラーを製造するに際し、当該交換ミラーの反射面の形状と、それに対応する被交換ミラーの基板の反射面となる面の形状を、レーザー干渉形状測定装置で測定し、両者の測定データの差と、前記形状補正量に基づいて、前記被交換ミラーの基板の反射面となる面の形状が目標値になるように加工を行う工程を有することを特徴とするもの（請求項3）である。

【0018】

レーザー干渉形状測定装置で、交換ミラーの反射面の形状と、それに対応する被交換ミラーの基板の反射面となる面の形状との差を測定することにより、精密な測定が可能であり、測定と加工を交互に繰り返して交換ミラーの基板を製造することにより、交換ミラーの形状を目標値に近いものとすることができる。

40

【0019】

前記課題を解決するための第4の手段は、前記第3の手段であって、前記レーザー干渉形状測定装置は参照面を有し、当該参照面のレーザー光反射率が、前記被交換ミラーの反射面のレーザー光反射率より低く、前記交換ミラーの基板の反射面となる面の反射率より高いことを特徴とするもの（請求項4）である。

【0020】

レーザー干渉形状測定装置で表面形状を測定するとき、交換ミラーの基板の反射面とな

50

る面と被交換ミラーの反射面との反射率の違いが問題となる。すなわち、被交換ミラーの反射面には反射膜が形成されているのに、交換ミラーの基板の反射面となる面には、まだ反射膜が形成されていないので、両者の反射率の差は大きくなる。レーザー干渉形状測定装置においては、参照面から反射される光量と測定面から反射される光量の差が大きいと、明確な干渉縞が形成されず、測定誤差が大きくなる。

【0021】

本手段においては、参照面のレーザー光反射率が、被交換ミラーの反射面のレーザー光反射率より低く、交換ミラーの基板の反射面となる面の反射率より高いような反射率とされているので、被交換ミラーの反射面、交換ミラーの基板の反射面となる面の両方の形状を正確に測定することができる。

10

【0022】

前記課題を解決するための第5の手段は、前記第1の手段から第4の手段のいずれかのEUV露光装置用投影光学系の製造方法で製造された投影光学系を有することを特徴とするEUV露光装置（請求項5）である。

【0023】

本手段においては、所望の光学性能を有するEUV露光装置とすることができる。

【発明の効果】**【0024】**

本発明によれば、所望の光学性能を有するEUV露光装置用投影光学系の製造方法、及びこの投影光学系を有するEUV露光装置を提供することができる。

20

【実施例】**【0025】**

以下、図3に示されたような6枚の非球面ミラーで構成される投影光学系を例として、本発明の実施例を、図を用いて説明する。この投影光学系は光路の途中で中間像を形成する光学系で、像側から光路をたどって3番面のミラー（以下、M3ミラーという）が、中間像に最も近い位置に配置されている。

（実施例1）

図1は、本発明のEUV露光装置用投影光学系の製造方法の第1の実施例の製造工程を示すフローチャートである。本実施例による製造方法は、光学性能評価の後に、光学性能を補正する工程を有する。

30

【0026】

最初に投影光学系を構成する非球面ミラーの基板を製作した（ステップS1）。基板材料には、熱膨張率 $1\text{ppb}/\text{K}$ 以下のセラミックガラスを使用した。イオンビームを用いて基板の研磨加工を行い、その形状はフィゾータイプのレーザー干渉計で測定した。イオンビーム加工は原子レベルで基板材料を除去できるため、高精度な基板の加工に適している。フィゾータイプのレーザー干渉計は、装置内に基準参照面（フィゾー面）を具備し、フィゾー面と被測定ミラー表面との比較測定を行うものである。比較的空気揺らぎや振動等の影響を受けにくく、高精度な形状計測に適している。

【0027】

基板加工が完了した後、その表面にモリブデンとシリコンからなる多層膜をコーティングした（ステップS2）。多層膜の形成手段には、反射率の高い多層膜が形成できるマグネトロンスパッタ法を採用した。投影光学系を構成する6枚のミラーを完成した後、並行して製作したメカ部品（ステップS3）と組み合わせて、光学系を組み立てた（ステップS4）。メカ部品は、ミラーを保持するマウント機構や、ミラーを高精度に位置決めするステージ機構などを有する。これらによって、ミラーの形状を変化させないようにミラーを保持し、さらにミラーの位置関係を高精度に調整できる。

40

【0028】

ミラーの位置調整は、光学性能の評価結果に基づいて実施した。光学性能の評価は、EUV光を用いた干渉計を用い、光学系の波面収差を測定することによって行った。波面収差の測定は、投影光学系の露光フィールド内の複数箇所に対して行った。同時に、像歪と

50

像面湾曲も測定した(ステップS4)。これらの測定結果から、ミラーの位置関係のずれ量を算出し、ミラーの位置を調整した。さらに、光学性能を補正するような、ミラー形状補正量を算出した(ステップS6)。ミラー形状補正量は、補正するミラー枚数によって異なるが、本実施例においては、6枚のミラーのうち3枚を補正する場合の補正量を算出した。

【0029】

波面収差の測定データからミラー形状の補正量を算出する方法は、例えば特開2000-91209号公報(特許文献1)に記載されているような、公知の方法を使用することができる。

【0030】

すなわち、波面収差をゼルニケ多項式に展開することによって、ディストーション、フォーカス、非点収差、コマ収差等の各収差を求める一方、どの各ミラーの形状を微少量変化させたときに、どの収差成分がどの程度変化するかを、シミュレーションにより求めておく。そして、このシミュレーション結果を逆算することにより、各収差を補正するために、対応するミラー形状をどの程度修正したらよいかを求める。

【0031】

光学性能評価の後、光学系を解体し、6枚のミラーのうち、3枚のミラー(以下、これらのミラーを被交換ミラーという)を取り出した(ステップS7)。この3枚の被交換ミラーと同じ種類のミラー(以下、このミラーを交換ミラーという)を各1枚ずつ製作した(ステップS8)。交換ミラーは被交換ミラーと同じ基板材料で構成し、被交換ミラーの基板と同じ手法で研磨加工を行った。ただし、交換ミラーの基板の形状が、交換ミラーの形状に前述のミラー形状補正量を加えた形状となるように研磨加工を行った。

【0032】

すなわち、光学系から取り外した交換ミラーの形状をフィゾー干渉計で計測したときの測定値をAとし、算出した形状補正量をBとすると、交換ミラーの形状の目標測定値は、 $A + B$ とした。つまり、形状補正量分だけオフセットさせた形状に交換ミラーの形状を追い込むように加工を行った。例えば、交換ミラーの形状測定値がCであった場合は、残りの研磨量は $A + B - C$ ということになる。

【0033】

交換ミラーの基板の製作が完了した後、基板表面に多層膜をコーティングした(ステップS9)。次に3枚の交換ミラーを被交換ミラーに代えてメカ部品に装着し、光学系を再度組み立てた(ステップS10)。再度光学系の特性を評価し、ミラーの位置を調整した。その結果、当初のミラーで構成した光学系よりも優れた光学性能を得ることができた(ステップS11)。これらのミラーをEUV露光装置の投影光学系に搭載して(ステップS12)、露光評価を行った(ステップS13)ところ所望のレジストパターンを得ることができた。

(実施例2)

図2は、本発明のEUV露光装置用投影光学系の製造方法の第2の実施例の製造工程を示すフローチャートである。本実施例においては、第1の実施例において、光学系を組み立てて光学性能の評価を行い、その結果に基づいてミラー形状補正量を算出したのに対し、実際のEUV露光装置を用いて行った露光結果に基づいてミラー形状補正量を算出しているところが異なっている。前者よりも後者の測定精度がよい場合は、第1の実施例よりもさらに優れた投影光学系を作成することが可能である。

【0034】

以下の説明においては、第1の実施例と同じ工程の説明は省略し、第1の実施例と異なる工程のみを説明する。

【0035】

交換ミラーで構成した光学系の光学性能評価を行った後(ステップS25)、これらのミラーを実際のEUV露光装置の投影光学系に搭載した(ステップS26)。このEUV露光装置を用いて実際に所定のパターンを有するマスクによりウエハ上のレジストを露光

10

20

30

40

50

し、得られたレジストパターンを測定し、その結果から光学性能を得た（ステップS27）。

【0036】

すなわち、ステージを走査することなく露光を行い、静止露光パターンを得た。そのレジストパターンの位置関係を座標測定機で計測し、像歪を取得した。一般にEUV光を用いた干渉計は波面収差の測定には適しているものの像歪の測定精度は静止露光評価精度に劣る場合が多い。本工程は、より高精度に像歪を低減したい場合に有効である。

【0037】

像歪から、ミラーの形状修正量を求める方法は、各ミラーの形状を微少量変化させたときに、像歪がどの程度変化するかを、予めシミュレーションによって求めておき、この関係式を逆算することにより、求められた像歪に対応するミラーの形状修正量を求める方法を使用することができる。

10

【0038】

光学性能評価から得られた波面収差と露光評価から得た像歪から、ミラー形状補正量を算出した（ステップS28）。その後は、第1の実施例と同様に投影光学系を製作した。この投影光学系をEUV露光機に搭載して、露光評価を行ったところ所望のレジストパターンを得ることができた。

【0039】

以上の第1及び第2の実施例において、交換ミラーの基板を製作する際は、フィゾー干渉計で被交換ミラーの形状と交換ミラーの基板の比較測定を行った。このとき、被交換ミラーには多層膜がコーティングされているため、そのレーザー光反射率は交換ミラーの基板の光反射率よりも高いことが多い。反射率の差が大きい場合は、干渉縞のコントラストを得ることが難しくなる。

20

【0040】

干渉縞のコントラストは、フィゾー面で反射したレーザー光の強度と、被測定ミラーの表面で反射したレーザー光の強度の比で決まる。フィゾー面の反射率がミラー基板の反射率と概ね同じである場合は、ミラー基板を測定する場合に十分なコントラストが得られるものの、多層膜ミラーを測定する場合は、コントラストが低くなり、測定精度が不足する。

【0041】

第1の実施例、第2の実施例においては、フィゾー面の反射率をミラー基板の反射率よりも高く、且つ多層膜の反射率よりも低くなるようにした。すなわち、フィゾー面に表面反射増加膜を形成して、反射率を制御した。このようなフィゾー干渉計を用いることによって、被交換ミラーおよび交換ミラーのいずれの測定においても十分なコントラストを得ることができた。

30

【0042】

なお、第2の実施例においては、実際に露光したレジストパターンの形状から光学性能を評価したが、このような測定方法に限らず、例えば、EUV露光装置に干渉計を搭載して、波面収差を測定し、その結果に基づいて光学性能を評価するようにしてもよい。また、空間像をフォトセンサ等で計測し、その結果に基づいて波面収差や像歪を取得するようにしてもよい。

40

【図面の簡単な説明】

【0043】

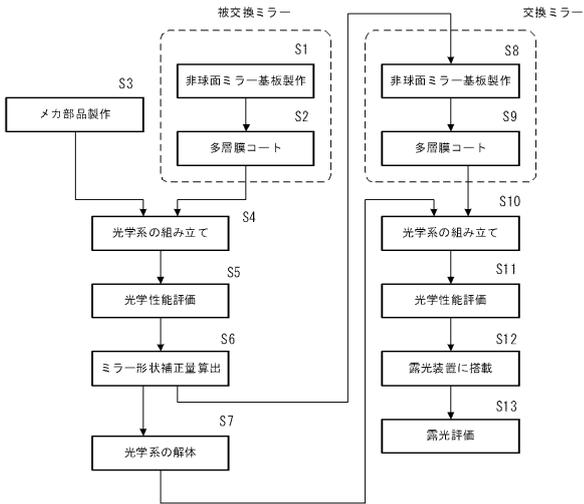
【図1】本発明のEUV露光装置用投影光学系の製造方法の第1の実施例の製造工程を示すフローチャートである。

【図2】本発明のEUV露光装置用投影光学系の製造方法の第2の実施例の製造工程を示すフローチャートである。

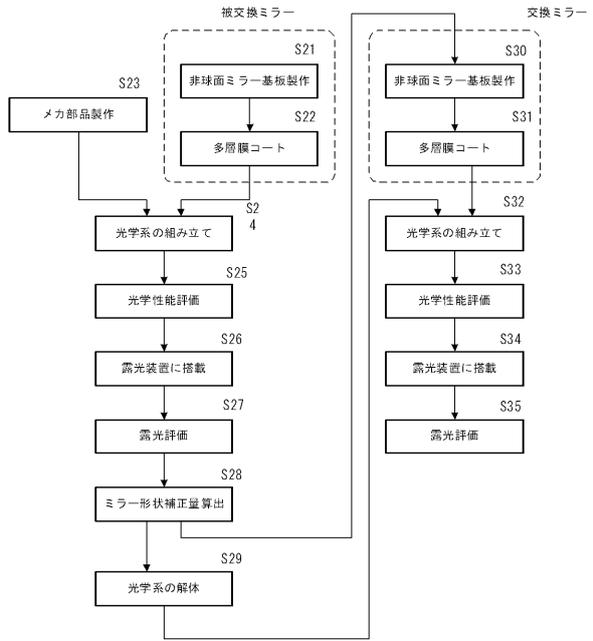
【図3】EUV露光装置の概略構成を示す図である。

【図4】従来の投影光学系の製作工程を示す図である。

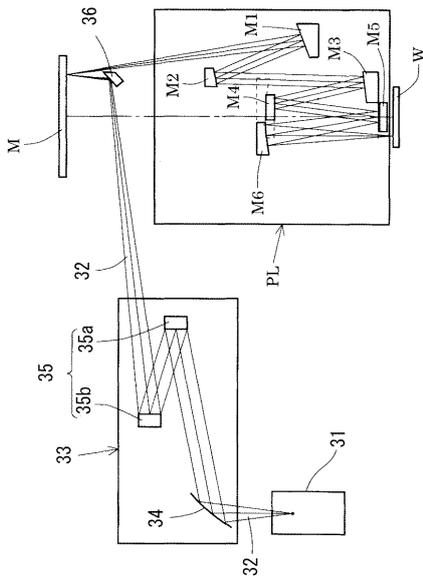
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】

