(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2002 年6 月13 日 (13.06.2002)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 02/47132 A1

(51) 国際特許分類[7]: H01L 21/027, G03F 7/20

(21) 国際出願番号: PCT/JP01/10615

(22) 国際出願日: 2001 年12 月5 日 (05.12.2001)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2000-371052 2000 年12 月6 日 (06.12.2000) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 押野哲也 (OSHINO, Tetsuya) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 株式会社 ニコン内 Tokyo (JP).

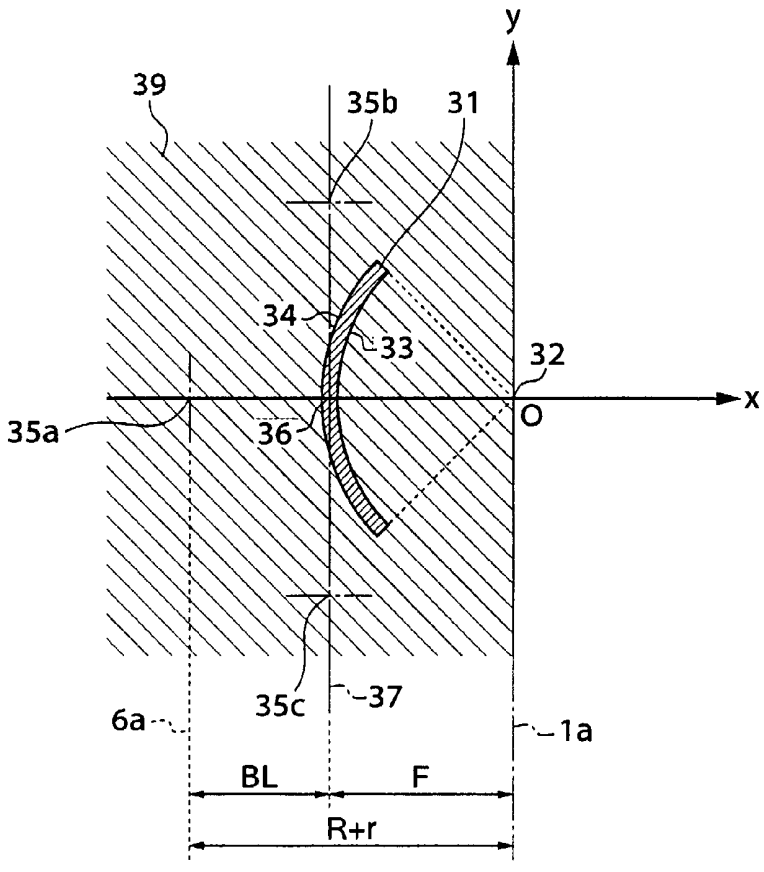
(74) 代理人: 渡部 温(WATANABE, Atsushi) ; 〒169-0075 東京都新宿区高田馬場1-20-10-203 進歩国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL,

[続葉有]

(54) Title: X-RAY PROJECTION EXPOSURE DEVICE, X-RAY PROJECTION EXPOSURE METHOD, AND SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: X線投影露光装置およびX線投影露光方法および半導体デバイス



(57) Abstract: An X-ray projection exposure device for exposing a desired fine pattern highly precisely onto a circuit pattern on a wafer. This X-ray projection exposure device comprises an X-ray source, an X-ray illuminating optical system for irradiating a mask having a predetermined pattern with an X-ray beam emitted from the X-ray source, a mask stage holding the mask, an X-ray projection optical system (1) for receiving X-rays from the mask to project the image of the pattern on the wafer to which a resist is applied a wafer stage (5) holding a wafer (4) and a mark position determining mechanism (6) for determining the position of a mark (4a) formed on the wafer (4). The center (36) of an exposure field of the X-ray projection optical system (1) is a way from the center axis (1a) of the optical system (1). Moreover, the center axis (6a) of the mark position determining mechanism (6) is located on the

[続葉有]

WO 02/47132 A1

TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

same side as the exposure field with respect to the center axis (1a) of the X-ray projection optical system (1).

(57) 要約:

所望の微細パターンをウエハ上の回路パターンに高精度に重ねて露光することができるＸ線投影露光装置を提供する。このＸ線投影露光装置は、Ｘ線源と、Ｘ線源から発生するＸ線を所定のパターンを有するマスク上に照射するＸ線照明光学系と、マスクを保持するマスクステージと、マスクからのＸ線を受けて該パターンの像をレジストを塗布したウエハ上に投影するＸ線投影光学系１と、ウエハ４を保持するウエハステージ５と、ウエハ４に形成されたマーク４ａの位置を検出するマーク位置検出機構６と、を備える。なお、Ｘ線投影光学系１の露光視野の中心３６はこの光学系１の中心軸１ａから離れた位置にある。また、マーク位置検出機構６の中心軸６ａは、Ｘ線投影光学系１の中心軸１ａに対して、露光視野の側にある。

明　細　書

Ｘ線投影露光装置およびＸ線投影露光方法および半導体デバイス

技術分野

本発明は、例えば、フォトマスク（マスクまたはレチクル）上の回路パターンを波長１～３０ｎｍのＸ線を用いて、反射型結像光学系を介してウエハ等の基板上に転写するＸ線投影露光装置に関する。また、該Ｘ線投影露光装置を用いた露光方法および該Ｘ線投影露光装置で作成した半導体デバイスに関する。

背景技術

現在工業的に用いられている半導体製造用の露光装置は、物体面としてのフォトマスク（以下、マスクと称する）面上に形成された回路パターンを、投影光学系を介してウエハ等の基板上に投影転写するものである。マスク及び投影光学系の結像素子（レンズ等）は共に透過系である。露光光源は、例えば高圧水銀灯のｉ線やＫｒＦレーザー光源などが用いられる。

図５は、光透過系の露光装置の概念図である。

該露光装置は、光源（不図示）と、照明光学系５０と、投影光学系５１と、マスク５２を保持するマスクステージ５３と、ウエハ５４を保持するウエハステージ５５と、ウエハマーク位置検出機構５６とマスクマーク位置検出機構（不図示）等から構成されている。

その他に、ウエハの表面位置検出機構等も設けられている。同機構は、例えばウエハ上に斜めに光束を照射して、その反射光束を光検出器で検出する。本機構により、前記ウエハの光軸方向の表面位置を知ることが

できる。このような表面位置検出機構の具体例は、特開平６－２８３４０３号や８－６４５０６号、特開平１０－２１４７８３号に開示されている。

前記マーク位置検出機構はウエハおよびマスク上に形成されたマークの位置を光学的手段により検出する。

マスク５２には、ウエハ５４に転写するパターンの等倍あるいは拡大パターンが形成されている。

投影光学系５１は通常、複数のレンズ等で構成され、前記マスク５２上のパターンを前記ウエハ５４上に結像して一括転写できるようになっており、約２０ｍｍ角の露光視野を有しているため、所望の領域（例えば、半導体２チップ分の領域）を一括で露光することができる。

半導体デバイスの回路は複数層にわたって形成されるため、投影露光装置を用いたリソグラフィー手法により半導体デバイスを作成する際は、既にウエハ上に形成されている回路の上に高精度な重ね合わせ露光を行なうこととなる。重ね合わせ精度を確保するためには、露光中のマスク５２およびウエハ５４の位置を精密に検出する機構が必要である。このような機構として、マスクステージ５３やウエハステージ５５の位置をリアルタイムで測定する干渉計（不図示）と、上記両ステージの基準位置を求めるのに使用する、ウエハ５４およびマスク５２上に形成されたマーク（不図示）を光学的な手段で検出するマーク位置検出機構５６（マスク側のマーク検出機構は不図示）が用いられる。

マーク位置検出機構５６は、例えば光学顕微鏡のような構成とし、マークの拡大像をＣＣＤ等の画像検出器で検出する。マーク位置検出機構は、機器配置上の制約から投影光学系５１に隣接して配置されることが多い。このようなマーク位置検出機構の具体例は、特開平５－２１３１４号等に開示されている。

図６は、露光面上の露光視野とマーク位置検出機構の検出中心との関係を示す説明図である。

図６の中央部のハッチングした領域が露光視野６２であり、その中心が露光視野中心６１である。この例では露光視野６２は長方形である。露光視野中心６１を通り、ウエハステージの駆動軸に平行に引いた図中で横方向に延びる一点鎖線の直線がｘ方向中心線６４である。同中心線６４と、露光視野中心６１において直角に交わるのがｙ方向中心線６５である。

従来の一般的な露光装置は、投影光学系の中心軸と、正方形あるいは長方形の露光視野６２の中心点６１は一致している。というのは、透過屈折系の投影光学系のレンズは、軸対称形状であって中心部の光学収差が小さいので、該軸付近の視野を用いるのが原則といえるからである。

次に検出中心６３について説明する。マーク位置検出機構５６（図５参照）として光学検出機構を用いる場合、マーク位置検出機構５６と投影光学系５１が干渉しないように、検出中心６３は前記露光視野の中心点６１から一定距離（図中のＢＬ）離れた位置に配置される。なお、検出中心６３は、実質的にはマーク位置検出機構５６の光学系の中心軸とウエハ面との交点である。また、距離ＢＬは投影光学系５１の鏡筒半径とマーク位置検出機構５６の光学鏡筒の半径を足した寸法にほぼ等しい。さらに、ウエハステージの駆動軸と一致する方向を図６に示すｘ方向中心線６４とし、それに直角な方向をｙ方向中心線６５とすると、これらの線上（ｘ軸又はｙ軸上）で投影光学系中心点６１からＢＬの距離にある位置６３ａ、６３ｂ、６３ｃ、６３ｄの４点のいずれかに配置することが多かった。

露光する際は、あらかじめ、露光視野の中心６１とマーク位置検出機構の検出中心６３との間隔ＢＬ（この間隔をベースラインという）を測

定する。そして、ウエハ上のマーク位置をマーク位置検出機構で検出し、事前に判明しているマーク位置と露光したいウエハ上の位置との関係とベースラインとから、露光したいウエハ上の位置の座標を求め、該座標の位置が露光視野の中心位置と一致するように、ウエハステージを移動させる。

以上のような方法により、ウエハ上の所望の位置に露光視野を位置させ、その位置にパターンを転写形成することができた。

ところで、近年、半導体回路の集積化、高性能化がさらに進み、露光装置の解像度をさらに向上させることが求められてきた。一般に、露光装置の解像力Wは、主に露光波長λと結像光学系の開口数ＮＡで決まり、次式で表される。

Ｗ＝ｋ１λ／ＮＡ　　ｋ１：定数

従って、解像力を向上させるためには、露光光の波長を短くするか、あるいは開口数を大きくすることが必要となる。現在、半導体の製造に用いられている露光装置の露光光源には前述の通り、主に波長３６５ｎｍのｉ線が使用されており、開口数約０．５で０．５μｍの解像力が得られている。開口数をこれ以上大きくすることは、光学設計上困難であることから、露光光の短波長化が追求されている。

そこで、近年ｉ線より短波長の露光光として、例えばエキシマレーザーが用いられつつある。その波長は、例えば、ＫｒＦで２４８ｎｍ、ＡｒＦで１９３ｎｍであるため、ＫｒＦでは０．２５μｍ、ＡｒＦでは０．１８μｍの解像力が得られる。

そして、露光光としてさらに波長の短いＸ線を用いると、例えば波長１３ｎｍとすると、０．１μｍ以下の解像力が得られる。

このようなＸ線投影露光装置の場合、Ｘ線の透過性のよいレンズ材料が工業的には得られないため、投影結像光学系を全て反射鏡で構成する

必要がある。反射式の光学系の場合、光学系の中心軸付近に視野の広い光学系を設計することは困難である。一方、投影光学系の露光視野を光学系の中心軸から離れた位置に形成し（いわゆる軸外し光学系）、たとえば輪帯状にすれば、細長い露光視野内で高い解像度を得ることができる。

さらに露光の際に、マスクとウエハを走査することにより、小さな視野の結像光学系で２０ｍｍ角以上の半導体チップを露光することができる。かかる方法を用いるＸ線投影露光装置によれば、所望の露光領域を確保することができる。

図７は、現在考えられているＸ線投影露光装置の概念図である。

Ｘ線投影露光装置の主たる構成要素は、主にＸ線光源７７、Ｘ線照明光学系７８、Ｘ線投影光学系７１、マスク７２、マスクステージ７３、ウエハ７４、ウエハステージ７５である。

Ｘ線光源７７は、例えば、放電プラズマ式のＸ線光源である。照明光学系７８は何段かの反射レンズ、フィルタ等からなり、輪帯状の照明光をマスク７２に向けて照射する。

Ｘ線投影光学系７１は複数の反射鏡等で構成され、マスク７２上のパターンをウエハ７４上に結像する。各反射鏡の表面にはＸ線の反射率を高めるための多層膜が設けられている。Ｘ線投影光学系７１は輪帯状の露光視野を有し、マスク７２の一部の輪帯状の領域のパターンを、ウエハ７４の表面に転写する。

マスク７２は反射型であり、その反射面に回路パターンが形成されている。マスクが反射型であるために、Ｘ線投影光学系７１はマスク側が非テレセントリックな光学系となる。

波長１～３０ｎｍのＸ線は空気による吸収が大きいため、少なくともＸ線露光装置のＸ線光路は減圧雰囲気、Ｈｅ雰囲気、あるいは真空環境

に保つことが好ましい。最も好ましくは、真空環境にすることであり、そのためにＸ線投影露光装置の光学系は、真空チャンバ（不図示）内に配置される。

半導体デバイスは回路が複数層にわたって形成されるため、Ｘ線投影露光装置で半導体デバイスのパターンを転写露光する際も、既にウエハ上に形成されている回路の上に、次の回路パターンを重ね合わせ露光を行なう。この重ね合わせ露光を高精度に行うため、露光中のマスク７２およびウエハ７４の位置を精密に検出する機構が必要である。このような機構として、マスクステージ７３やウエハステージ７５の位置をリアルタイムで測定する干渉計（不図示）と、上記両ステージの基準位置を求めるのに使用する、ウエハ７４及びマスク７２上に形成されたマーク（不図示）を光学的な手段で検出するマーク位置検出機構（不図示）が用いられる。

ところで、半導体デバイスのパターンを転写する場合は、パターンの像をウエハ上の所望の位置に投影する必要がある。この像の位置精度は、少なくとも形成するパターンの最小線幅よりも小さくすることが必要であり、望ましくはパターンの最小線幅の１／４以下が求められる。したがって、露光装置の解像力の向上に伴って、パターンの位置精度つまり重ね合わせ精度も向上させなければならないということになる。

Ｘ線投影露光装置は従来の光投影露光装置よりも、投影パターンの最小線幅が小さいため、重ね合わせ精度も向上させる必要がある。重ね合わせ精度を向上させるためには、アライメントマークの検出精度の向上、ウエハステージの駆動精度の向上、ベースラインの安定性の向上が求められる。ベースラインの安定性とは、ベースライン（露光視野中心とマーク位置検出機構との間隔、図６のＢＬ）を測定した後、露光するまでの間にこの値が一定に保たれる度合いのことである。これが不安定であ

ると、ウエハの所望の位置に露光位置を合せることができず、重ね合わせ誤差となる。ベースラインが変動する要因は、投影光学系鏡筒の変形やその支持機構の変形等である。したがって、ベースラインの安定性は、鏡筒やマーク位置検出機構およびこれらを支える支持機構の安定性、並びにベースラインの長さによって左右される。マーク位置を検出してウエハの位置・姿勢をアライメントした後に露光に移行する際には、マーク位置検出機構の検出位置から露光位置まで、ウエハステージを駆動する。したがって、マーク位置検出機構の検出位置と露光視野との間の距離であるベースラインが長くなると、ウエハステージの駆動距離が長くなって、ステージの位置精度も落ちて重ね合わせ精度が悪くなる。

現在提案されているＸ線投影露光装置は、十分なベースライン安定性を確保することが困難であり、その結果、解像力に見合った重ね合せ精度が得られない問題点が予想される。その結果、製造される半導体デバイスの歩留まりを保証できないおそれがある。

本発明は、かかる問題点に鑑みてなされたものであり、所望の微細パターンをウエハ上の回路パターンに高精度に重ねて合わせ露光することができるＸ線投影露光装置を提供することを目的としている。

発明の開示

本発明は第一に「　Ｘ線源と、　該Ｘ線源から発生するＸ線を所定のパターンを有するマスク上に照射するＸ線照明光学系と、　該マスクを保持するマスクステージと、　該マスクからのＸ線を受けて該パターンの像をレジストを塗布したウエハ上に投影するＸ線投影光学系と、　該ウエハを保持するウエハステージと、　該ウエハまたは該ウエハステージに形成されたマークの位置を検出するマーク位置検出機構と、を備え、前記Ｘ線投影光学系の露光視野が該光学系の中心軸から離れた位置にあ

るＸ線投影露光装置であって、 前記マーク位置検出機構の検出中心が、前記Ｘ線投影光学系の中心軸に対して、前記露光視野の側にあることを特徴とするＸ線投影露光装置（請求項１）」を提供する。

また、本発明は第二に「 Ｘ線源と、 該Ｘ線源から発生するＸ線を所定のパターンを有するマスク上に照射するＸ線照明光学系と、 該マスクを保持するマスクステージと、 該マスクからのＸ線を受けて該パターンの像をレジストを塗布したウエハ上に投影するＸ線投影光学系と、該ウエハを保持するウエハステージと、 該ウエハまたは該ウエハステージに形成されたマークの位置を検出するマーク位置検出機構と、を備え、 前記Ｘ線投影光学系の露光視野が該光学系の中心軸から離れた位置にあるＸ線投影露光装置であって、 前記Ｘ線投影光学系の像面上で、該光学系の中心軸と該像面の交点を原点にし、露光視野の中心がｘ軸上でｘ＜０の位置になるようなｘｙ座標系を定めた場合に、該マーク位置検出機構の検出中心がｘ≦０の領域にあることを特徴とするＸ線投影露光装置（請求項２）」を提供する。

また、本発明は第三に「 前記検出中心を前記ｘ軸上、あるいは前記Ｘ線投影光学系の露光視野の中心点を通り該ｘ軸に直交する直線上に配置したことを特徴とする請求項２に記載のＸ線投影露光装置（請求項３）」を提供する。

また、本発明は第四に「 前記マーク位置検出機構は、前記マークに可視光、赤外光あるいは紫外光を照射して、その反射光、散乱光あるいは回折光を検出することを特徴とする請求項１又は２に記載のＸ線投影露光装置（請求項４）」

を提供する。

また、本発明は第五に「 前記マーク位置検出機構は、光学系で構成し、該光学系は光路の媒体の屈折率変化による焦点位置の変化を補正す

る機能を有することを特徴とする請求項１又は２に記載のＸ線投影露光装置（請求項５）」を提供する。

また、本発明は第六に「 Ｘ線源から発生するＸ線を所定のパターンを有するマスク上に照射し、 該マスクをマスクステージに保持し、 該マスクのパターンの像をレジストを塗布したウエハ上に投影し、 該ウエハをウエハステージに保持し、 該ウエハまたは該ウエハステージに形成されたマークの位置をマーク位置検出機構を用いて検出し、 前記Ｘ線投影光学系の露光視野を該光学系の中心軸から離れた位置に置き、前記Ｘ線投影光学系の像面上で、該光学系の中心軸と該像面の交点を原点にし、露光視野の中心がｘ軸上でｘ＜０の位置になるようなｘｙ座標系を定めた場合に、該マーク位置検出機構の検出中心をｘ≦０の領域に配置し、 前記マーク位置検出機構の検出信号に基づいて、前記ウエハステージを駆動して、前記ウエハの所望の位置に前記マスクに形成された回路パターンの投影像を形成することを特徴とするＸ線投影露光方法（請求項６）」を提供する。

また、本発明は第七に「 前記ｘｙ座標系の原点と前記Ｘ線投影光学系の露光視野の中心点との間隔の測定を行い、その値に基づいて前記ウエハステージの駆動量を決定することを特徴とする請求項６に記載のＸ線投影露光方法（請求項７）」を提供する。

また、本発明は第八に、「 請求項６又は７に記載のＸ線投影露光方法により露光を行なって作製したことを特徴とする半導体デバイス（請求項８）」を提供する。

図面の簡単な説明

図１は、本発明によるＸ線投影露光装置の概略図である。

図２は、マーク位置検出機構の具体的な構成例を示す図である。

図３は、本発明によるＸ線投影露光装置の露光視野とマーク位置検出機構の検出中心との位置関係を示した図である。

図４は、本発明によるＸ線投影露光装置の概略図である。

図５は、光透過系の露光装置の概念図である。

図６は、従来の露光装置の露光視野とマーク位置検出機構の検出中心の関係を示す説明図である。

図７は、現在考えられているＸ線投影露光装置の概念図である。

発明を実施するための最良の形態

図１は、本発明によるＸ線投影露光装置の概略図である。

本発明のＸ線投影露光装置の主たる構成要素は、Ｘ線源４１、Ｘ線照明光学系４２、Ｘ線投影光学系１、マスク２を保持するマスクステージ３、ウエハ４を保持するウエハステージ５、ウエハマーク位置検出機構６、マスクマーク位置検出機構（不図示）である。

Ｘ線源４１は、例えば放電プラズマ式のＸ線光源である。Ｘ線照明光学系４２は何段かのレンズ、フィルタ等からなり、輪帯状の照明光をマスク２に向けて照射する。マスク２は反射型で、その反射面に、ウエハ４上に描画されるパターンの等倍あるいは拡大パターンが形成されている。Ｘ線投影光学系１は輪帯状の露光視野を有し、複数の反射鏡等で構成されている。マスク２が反射型であるため、同光学系１は、マスク側が非テレセントリックな光学系となっている。マスク２のパターンは、Ｘ線投影光学系１でウエハ４の表面に結像される。このとき、マスク２とウエハ４を一定速度で同期走査させて、マスク２のパターン領域を選択的に露光し、ウエハ４の表面に転写する。

なお、波長が１～３０ｎｍのＸ線は空気による吸収が大きいため、Ｘ線露光装置のＸ線光路は、減圧雰囲気、Ｈｅ雰囲気あるいは真空雰囲気

に保つことが好ましい。最も好ましくは、真空雰囲気下とすることで、X線投影露光装置の光学系は、真空チャンバ（不図示）内に配置されている。

前記ウエハマーク位置検出機構６は、例えばウエハ上のマーク４ａおよびウエハステージ上のマーク（不図示）の位置を、光学的な手段等により検出する装置である。この機構から得たウエハの位置情報をもとにウエハ座標を設定してウエハステージを駆動し、マスク上のパターンをウエハ上の所望の位置に露光する。

図２は、マーク位置検出機構の具体的な構成例を示す図である。

この例のウエハマーク位置検出機構６は光学顕微鏡のようなものである。マーク位置検出機構６の光軸６ａ（検出中心）の直下にウエハマーク４ａがくるようにウエハステージ５を位置決めし、マーク４ａの拡大像をＣＣＤ等の検出器２１で検出して、画像処理によりマークの位置を検出する。この例のウエハマーク位置検出機構６は、レジストが感光しにくい光を発する光源（不図示）と、光源から射出した光をマークに照射する照明光学系（不図示）とマークの像を検出器上に拡大投影する検出光学系２２、２３と、ＣＣＤ等の検出器２１で構成されている。検出光学系の開口数を大きくして高コントラストのマーク像を得ることにより、高精度なマーク位置検出ができる。マーク位置検出機構６には、位置調整機構２４が設けられているが、この機構２４については後述する。

次に、図３を参照しつつ、本発明のＸ線投影露光装置における露光視野とウエハマーク位置検出機構の検出中心との位置関係について説明する。

本図は、露光視野３１が輪帯状である場合について示したもので、露光視野３１を含む平面（Ｘ線投影光学系の像面）を上から見た図である。この例では、露光視野３１は、Ｘ線投影光学系の中心軸と該像面との交

点３２を中心とした、ある半径と開き角を有する２つの円弧３３、３４に挟まれた領域である。上述のように反射型光学系では光学系中心軸付近に広い視野を設定しにくいので、このような円弧状（輪帯状）の露光視野となっている。

ウエハマーク位置検出機構６の検出中心は、図２に示すように、マーク位置検出機構６とＸ線投影光学系１との機械的干渉の制約から、Ｘ線投影光学系１の中心軸１ａから一定距離離れた場所に配置する。通常、マーク位置検出機構６は、投影光学系１の鏡筒の側壁に取り付けられるので、マーク位置検出機構６の中心軸６ａ（すなわち検出中心）と投影光学系１の中心軸１ａとの距離は、投影光学系１（鏡筒）の半径Ｒ（例えば３００ｍｍ）にマーク位置検出機構６（鏡筒）の半径ｒ（例えば５０ｍｍ）を足した値程度となる。

本発明においては、図３に示すように、前記像面上で、Ｘ線投影光学系の中心軸と該像面の交点３２（投影光学系中心）を原点にし、露光視野３１の中心点３６がｘ軸上でｘ＜０の位置になるようなｘｙ座標系を定めた時、ｘ≦０の領域（図中斜線で示した領域３９）にウエハマーク位置検出機構６の検出中心３５ａを配置する。

すなわち、投影光学系中心軸である原点３２と露光視野３１の中心３６とを結んだ線をｘ軸とし、原点３２から見て露光視野中心３６がマイナスとなるようにｘ座標をとる。そして、同様に、マーク検出中心３５ａもマイナス側（０含む）に置く。このことを別の表現とすれば、マーク位置検出機構の検出中心３５ａが、投影光学系中心軸１ａに対して、露光視野３１の側にあるといえる。なお、このｘ軸は、通常、ウエハステージをスキャン送りする軸と一致する。

検出中心３５を前記領域３９に配置することにより、他の場所に配置した場合よりも、ベースラインＢＬ（検出中心３５と露光視野中心３６

との距離）を小さくすることができる。その結果、アライメント位置から露光位置までのウエハステージの駆動距離を短くすることができ、ベースラインの安定性が向上する。特に検出中心をｘ軸上の点３５ａに配置すると、ベースラインの安定性が向上する。

また、検出中心を、露光視野の中心点３６を通りｘ軸に直交する直線（ｙ軸平行線）３７上の点３５ｂおよび３５ｃに配置する場合も、座標把握が簡単となりベースラインの安定性が向上する。

なお、上記ハッチング領域３９でも投影光学系の光学鏡筒と干渉する位置にはマーク位置検出機構を置くことはできず、実際は、原点３２から図２に示す距離Ｒ＋ｒ（投影光学系鏡筒半径＋マーク位置検出機構半径）以上離れた位置となる。ベースラインＢＬが最も短いのは、図３のｘ軸上の検出中心３５ａの場合であって、この場合のベースラインＢＬの寸法は、前記Ｒ＋ｒから原点３２と露光視野中心３６との距離Ｆを引いた値となる。

前記マーク位置検出機構は、前記マークに可視光、赤外光あるいは紫外光を照射して、その反射光、散乱光あるいは回折光を検出することが好ましい。光学的な検出方法を採用することで、高い検出精度を得ることができる。特に検出光の波長帯幅を広く取ると、レジスト内部における光の干渉効果が小さくなり、検出精度が向上する。

また、マーク位置検出機構を光学装置で構成し、その光学系の一部を露光環境である真空中に配置する場合は、環境媒体と光学素子との屈折率差を真空とガラスの屈折率差として設計することが好ましい。これにより、高分解能の光学系が作成でき、マーク位置検出精度も向上する。

一方、マーク位置検出機構を調整する際は、大気中において調整できると、調整が容易になる。この時、真空中で収差が最適となるように設計された光学系は、大気中で同じ収差特性が得られるとは限らない。特

に焦点距離が大きく変わることが多い。そこで、マーク位置検出機構に焦点位置の補正機構を設けることが好ましい。本機能を設けることによって、大気中でもマーク位置検出が可能となり、マーク位置検出機構の調整が容易にできる。

前記補正機構は、例えば光学系を構成するレンズの一部を光軸方向に移動させることで可能である。マーク位置検出機構の光学系は、そのすべてを真空チャンバ内に配置する、あるいは一部を真空チャンバ内に配置して残りの部分を真空チャンバ外に配置する形態が考えられる。前者の場合はレンズ等の位置調整を真空中で行う必要があるため、図２に示すように真空中で駆動可能なモーター等のアクチュエータ２４を配置すると、真空中にあるレンズを遠隔操作できるため好ましい。後者においては、調整機構を前者と同様に真空中に配置しても良いが、好ましくは真空チャンバの外に配置することが好ましい。この方が調整機構を安価に作成できる。

マーク位置検出機構は、光学的な検出機構に限らない。マークに電子線、Ｘ線、粒子線を照射して、その反射、散乱、回折、透過あるいは励起した電子線、Ｘ線、粒子線を検出する機構でも良い。Ｘ線投影露光装置は露光環境が真空であるため、前記電子線、Ｘ線、粒子線のうち空気に吸収されやすく、従来の露光装置では検出が困難であったものを利用して検出することができる。このような特徴を利用して、従来の露光装置とは異なる手段で、高い検出精度を達成することができる。

以下、本発明をさらに具体的に説明するが、本発明はこれらの例に限定されるものではない。

図４は、本発明による第一の実施の形態であるＸ線投影露光装置を示している。

本装置は主に、Ｘ線光源（不図示）とＸ線照明光学系（不図示）、Ｘ

線投影光学系１、マスク２を保持するマスクステージ３、ウエハ４を保持するウエハステージ５、ウエハマーク位置検出機構６、マスクマーク位置検出機構（不図示）、真空チャンバ７、鏡筒を支持するベース部材８、ベース部材８を支持する除振台９で構成される。

本装置は、Ｘ線光源としてレーザープラズマＸ線源を用い、ここから発したＸ線がＸ線照明光学系を介してマスク２に照射される。この時露光波長は例えば１３．５ｎｍとし、マスク２は反射型のものを用いる。マスク２で反射したＸ線１１ａは、Ｘ線投影光学系１を通過してウエハ４上に到達し、マスクパターンがウエハ４上に縮小転写される。

Ｘ線投影光学系１は６枚の反射鏡で構成され、倍率は１／４であり、幅２ｍｍ長さ３０ｍｍの輪帯状の露光視野を有する。６枚の反射鏡は、鏡筒内に支持されている。鏡筒をインバー製とすることで熱変形が生じにくいようにできる。

反射鏡は反射面形状が非球面であり、その表面にはＸ線の反射率を向上させるためのＭｏ／Ｓｉ多層膜がコートされている。Ｍｏ層は、詳細にはＭｏ層とＲｕ層が交互に積層して形成し、多層膜の内部応力３０ＭＰａ以下としたものを用いる。

露光時はマスク２およびウエハ４はそれぞれマスクステージ３およびウエハステージ５により走査される。ウエハの走査速度は、常にマスクの走査速度の１／４となるように、同期している。その結果、マスク上のパターンをウエハ上に１／４に縮小して転写することができる。

ウエハマーク位置検出機構６は、前述の特殊な光学顕微鏡を用いることができる。ウエハ上のマークの拡大像をＣＣＤで撮像し、画像処理によってウエハの位置を検出する。

ウエハマーク位置検出機構６の検出中心は、図３に示すようにｘ軸上の点3.5ａの位置に配置する。つまり、この位置のマークの像を観察で

きるように、ウエハマーク位置検出機構を配置する。この際、露光視野の中心点３６と検出中心３５ａの間隔であるベースライン（図３のＢＬ）が極力小さくなるように、ウエハマーク位置検出機構６を配置する。

ウエハマーク位置検出機構６はベース部材８に固定されている。ベース部材８は除振台９の上に配置して、Ｘ線投影光学系およびウエハマーク位置検出機構に振動が伝わり難いようになっている。ベース部材にマスクステージ３、ウエハステージ５等からの振動が伝わらないように、真空チャンバ７とベース部材８との間にベローズ等の緩衝部材１０を挟んだ構造となっている。以上のような構成とすることで、Ｘ線投影光学系１とウエハマーク位置検出機構６の位置関係がほぼ一定に保たれる。

以上の機構により、ウエハのマークの位置を１０ｎｍ以下の高精度で検出することも可能になる。また、ベースラインも１０ｎｍ以下の安定性を得ることも可能となる。本発明による露光装置は、この検出結果に基づいて露光パターンをウエハ表面に形成された回路パターンに高精度に重ね合わせて露光し、最小サイズ０．０７μｍのレジストパターンを、所望の領域であるウエハ上の半導体チップ１個分の領域全面に、所望の形状で得ることができる。さらに、高い歩留まりかつ高いスループットでデバイスを作製することができる。

上述の実施の形態のＸ線投影露光装置を用いて、レジストを塗布したウエハに露光を行う例について説明する。

露光する際は、あらかじめウエハ表面の複数のマークをマーク位置検出機構で検出して、マークの間隔を測定する。そして、測定値と設計値との差から、露光に最適な倍率補正量を算出する。そして、マスクおよびウエハをそれぞれＸ線投影光学系の光軸方向に移動させて、投影倍率を補正する。

次に、露光視野中心と検出中心の距離であるベースラインを測定する。

さらに、ウエハ表面およびマスク表面のマークをウエハマーク位置検出機構およびマスクマーク位置検出機構で検出する。そして、すでに測定したベースラインの値に基づいて、投影パターンがウエハ表面にすでに形成された回路パターンに所望の重ね合わせ精度以下で形成されるように、ウエハステージおよびマスクステージを駆動してウエハ位置を調整する。

以上の露光方法により、最小サイズ０．０７μｍのレジストパターンを、所望の領域であるウエハ上の半導体チップ１個分の領域全面に、所望の形状で得ることも可能となる。このときの重ね合わせ精度は１０ｎｍ以下が期待できる。

上述の例のＸ線投影露光装置を用いて、上述の例の露光方法によって半導体デバイスを作製する方法について説明する。

デバイスは、例えば１６ＧＢ（ギガバイト）のＤＲＡＭとする。本デバイスは、２２層の回路が形成されており、その内の１５層を本発明によるＸ線投影露光装置で露光する。残りの７層は、最小パターンサイズが０．１５μｍ以上なので、エキシマレーザー露光装置で露光する。各露光の間にはレジスト塗布、ドーピング、アニーリング、エッチング、デポジション等の処理を行い、デバイス回路を作製する。そして、最後に、シリコンウエハを切断してチップ状に分割し、各チップをセラミック製のパッケージに梱包する。

以上のように作製した半導体デバイスは、１６ＧＢという大容量を有しつつ、所望の電気特性を示すものとできる。

産業上の利用可能性

以上の如く、本発明のＸ線投影露光装置によれば、ベースラインを安定に保つことができる。その結果、変形量の大きなプロセスウエハに対

しても、高い重ね合わせ精度かつ高いスループットで露光を行うことができる。

請　求　の　範　囲

1．　X線源と、

該X線源から発生するX線を所定のパターンを有するマスク上に照射するX線照明光学系と、

該マスクを保持するマスクステージと、

該マスクからのX線を受けて該パターンの像をレジストを塗布したウエハ上に投影するX線投影光学系と、

該ウエハを保持するウエハステージと、

該ウエハまたは該ウエハステージに形成されたマークの位置を検出するマーク位置検出機構と、を備え、

前記X線投影光学系の露光視野が該光学系の中心軸から離れた位置にあるX線投影露光装置であって、

前記マーク位置検出機構の検出中心が、前記X線投影光学系の中心軸に対して、前記露光視野の側にあることを特徴とするX線投影露光装置。

2．　X線源と、

該X線源から発生するX線を所定のパターンを有するマスク上に照射するX線照明光学系と、

該マスクを保持するマスクステージと、

該マスクからのX線を受けて該パターンの像をレジストを塗布したウエハ上に投影するX線投影光学系と、

該ウエハを保持するウエハステージと、

該ウエハまたは該ウエハステージに形成されたマークの位置を検出するマーク位置検出機構と、を備え、

前記X線投影光学系の露光視野が該光学系の中心軸から離れた位置にあるX線投影露光装置であって、

前記Ｘ線投影光学系の像面上で、該光学系の中心軸と該像面の交点を原点にし、露光視野の中心がｘ軸上でｘ＜０の位置になるようなｘｙ座標系を定めた場合に、該マーク位置検出機構の検出中心がｘ≦０の領域にあることを特徴とするＸ線投影露光装置。

３．　前記検出中心を前記ｘ軸上、あるいは前記Ｘ線投影光学系の露光視野の中心点を通り該ｘ軸に直交する直線上に配置したことを特徴とする請求項２に記載のＸ線投影露光装置。

４．　前記マーク位置検出機構は、前記マークに可視光、赤外光あるいは紫外光を照射して、その反射光、散乱光あるいは回折光を検出することを特徴とする請求項１又は２に記載のＸ線投影露光装置。

５．　前記マーク位置検出機構は、光学系で構成し、該光学系は光路の媒体の屈折率変化による焦点位置の変化を補正する機能を有することを特徴とする請求項１又は２に記載のＸ線投影露光装置。

６．　Ｘ線源から発生するＸ線を所定のパターンを有するマスク上に照射し、

該マスクをマスクステージに保持し、

該マスクのパターンの像をレジストを塗布したウエハ上に投影し、

該ウエハをウエハステージに保持し、

該ウエハまたは該ウエハステージに形成されたマークの位置をマーク位置検出機構を用いて検出し、

前記Ｘ線投影光学系の露光視野を該光学系の中心軸から離れた位置に置き、

前記Ｘ線投影光学系の像面上で、該光学系の中心軸と該像面の交点を原点にし、露光視野の中心がｘ軸上でｘ＜０の位置になるようなｘｙ座標系を定めた場合に、該マーク位置検出機構の検出中心をｘ≦０の領域に配置し、

前記マーク位置検出機構の検出信号に基づいて、前記ウエハステージを駆動して、前記ウエハの所望の位置に前記マスクに形成された回路パターンの投影像を形成することを特徴とするＸ線投影露光方法。

７．　前記ｘｙ座標系の原点と前記Ｘ線投影光学系の露光視野の中心点との間隔の測定を行い、その値に基づいて前記ウエハステージの駆動量を決定することを特徴とする請求項６に記載のＸ線投影露光方法。

８．　請求項６又は７に記載のＸ線投影露光方法により露光を行なって作製したことを特徴とする半導体デバイス。

図 1

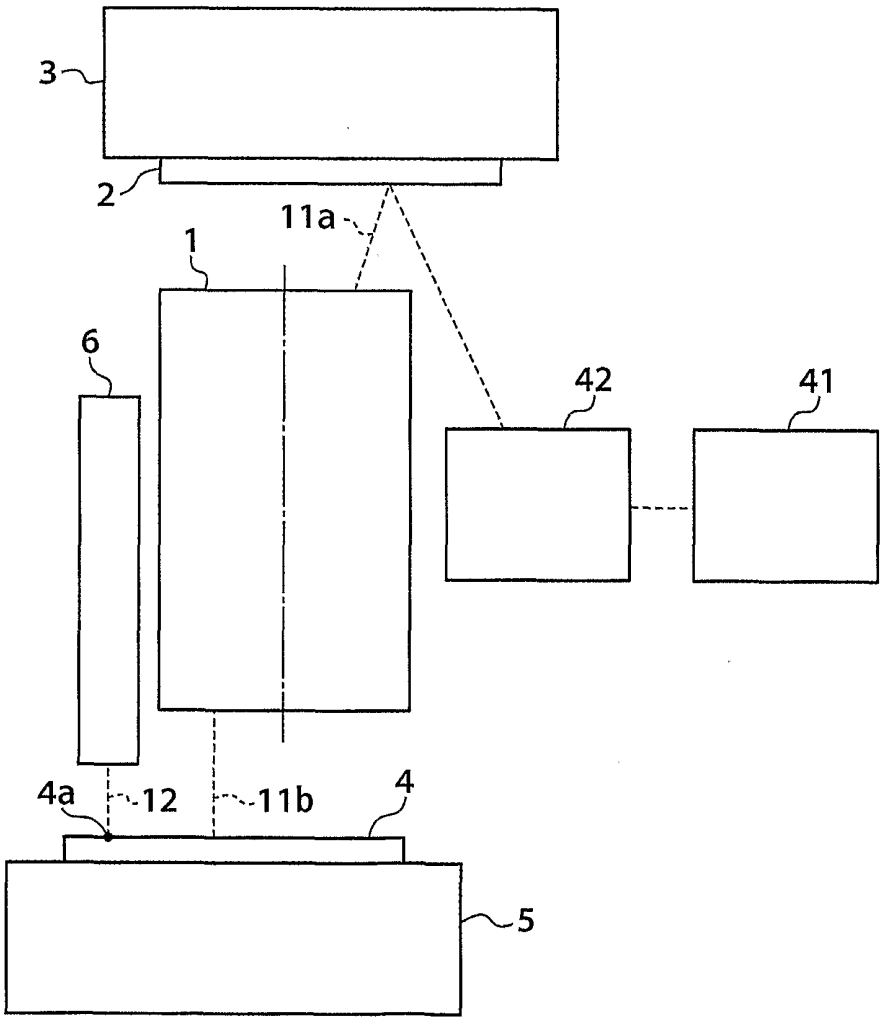


図 2

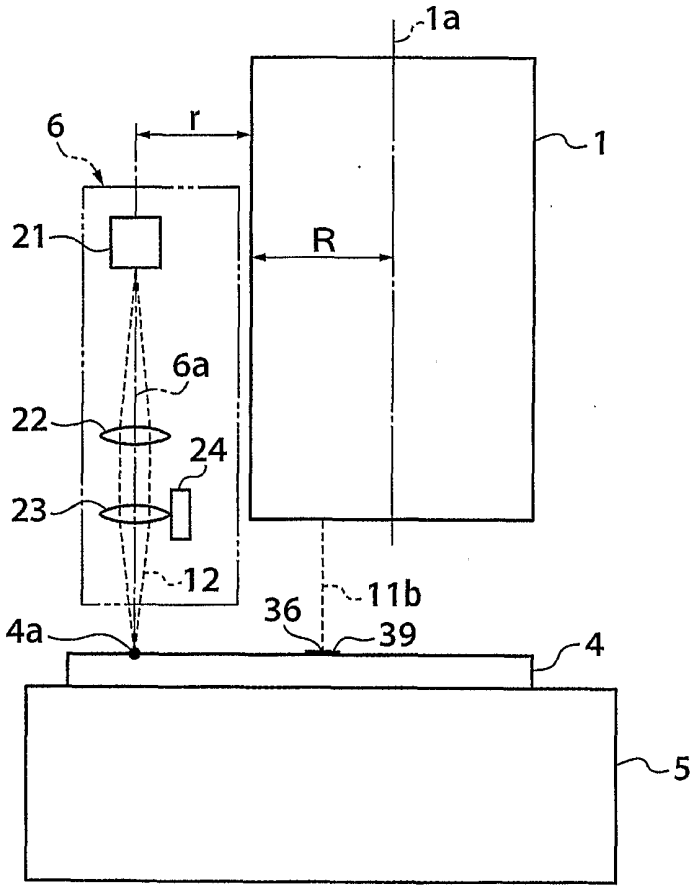


図 3

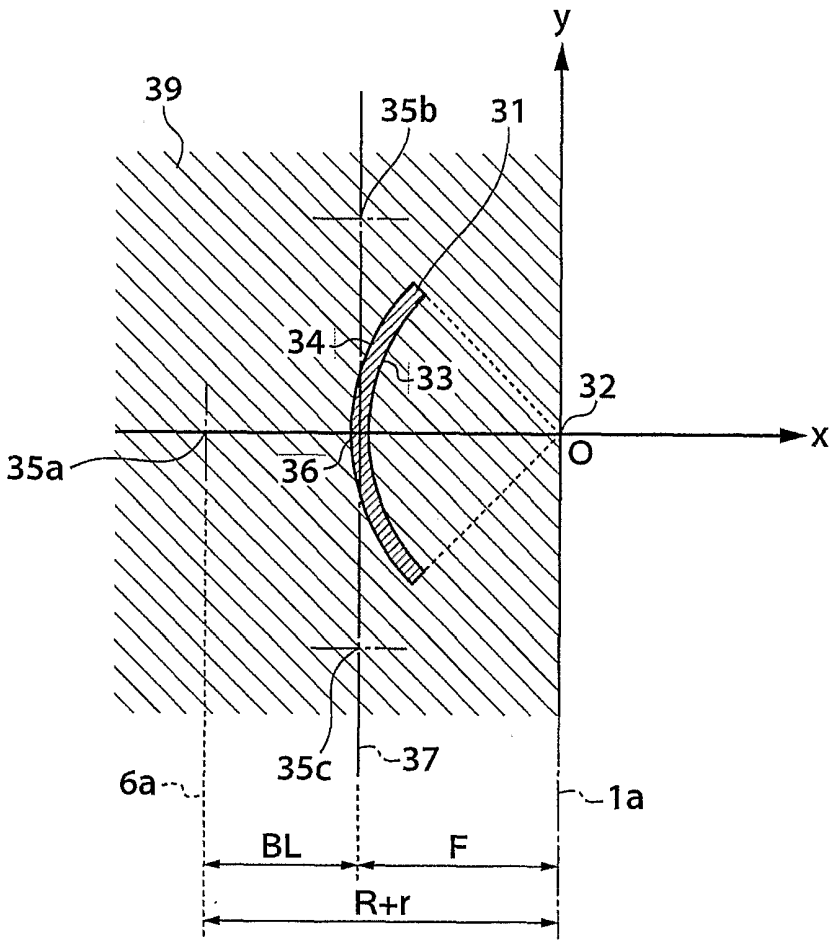


図 4

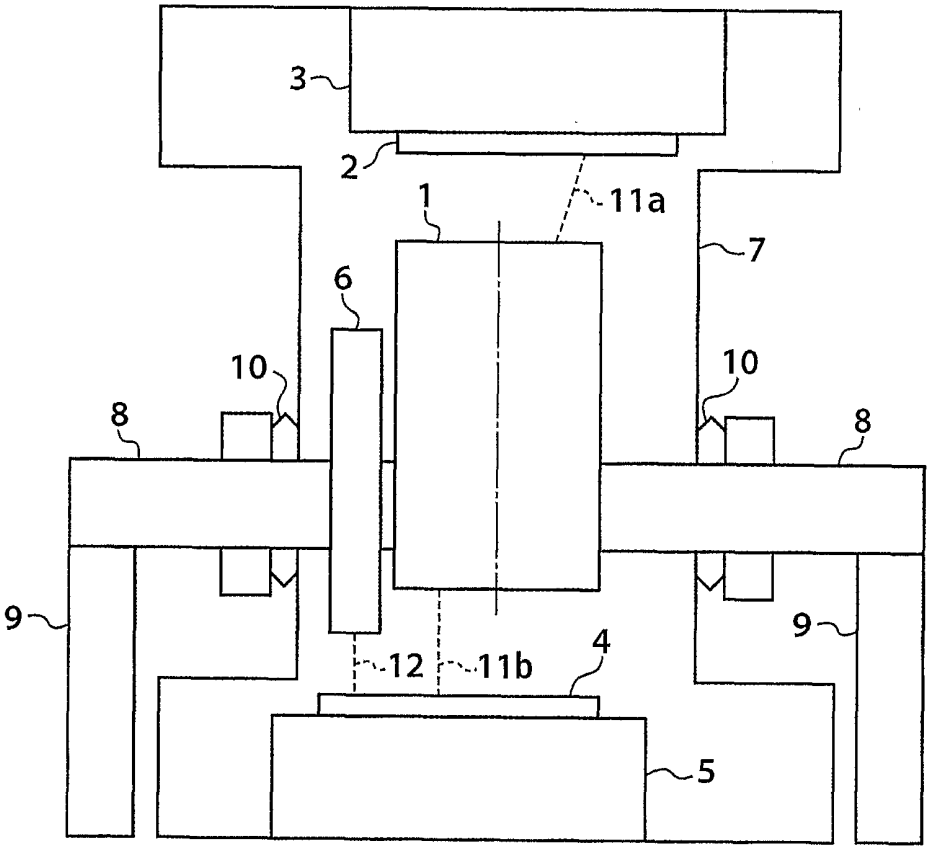


図 5

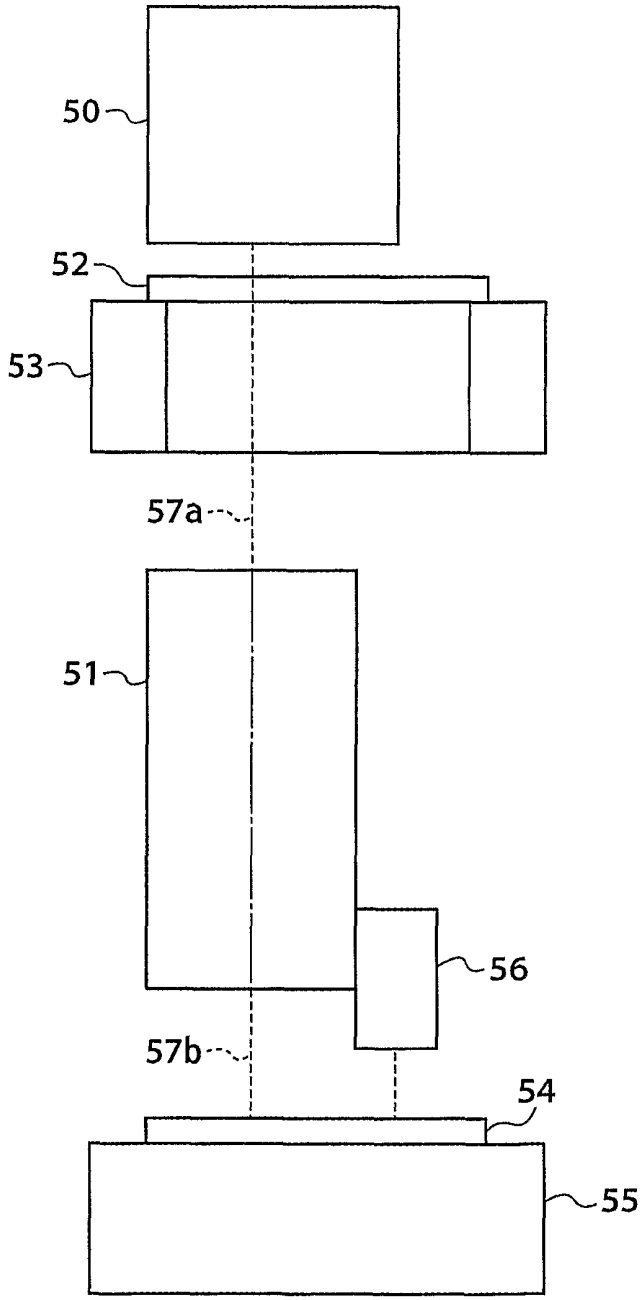


図 6

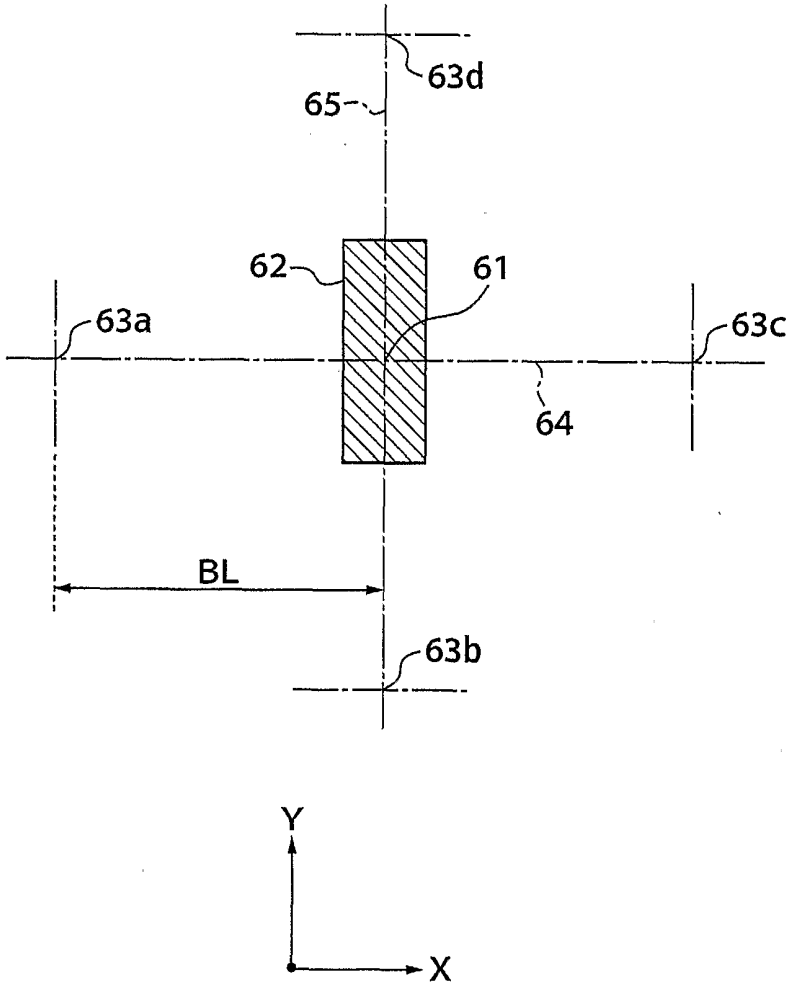
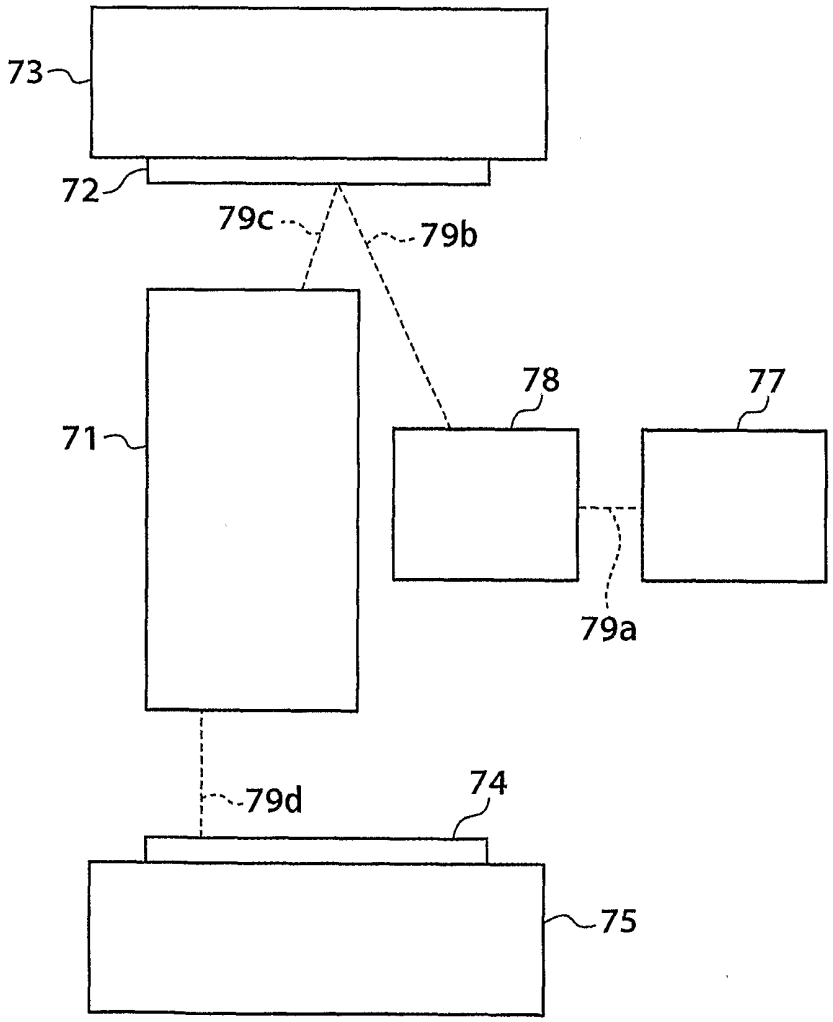


図 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP01/10615

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl[7] H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl[7] H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 11-345761 A (Nikon Corporation), 14 December, 1999 (14.12.1999),	1,2,4-8
Y	Full text; all drawings (Family: none)	3
Y	JP 2000-173910 A (Canon Inc.), 23 June, 2000 (23.06.2000), Full text; all drawings (Family: none)	3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
15 January, 2002 (15.01.02)	29 January, 2002 (29.01.02)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

国際調査報告

国際出願番号　PCT／JP01／10615

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. Cl[7]　H01L21／027, G03F7／20

B.　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int. Cl[7]　H01L21／027, G03F7／20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1926－1996年
日本国公開実用新案公報	1971－2002年
日本国登録実用新案公報	1994－2002年
日本国実用新案登録公報	1996－2002年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
X	JP　11－345761　A（株式会社ニコン） 1999．12．14、全文、全図（ファミリーなし）	1, 2, 4-8
Y		3
Y	JP　2000－173910　A（キヤノン株式会社） 2000．06．23、全文、全図（ファミリーなし）	3

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。　☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 15．01．02	国際調査報告の発送日 29.01.02
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA／JP） 郵便番号100－8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 南　宏輔　印　2M　2911 電話番号　03－3581－1101　内線　3274