

(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2004-31808

(P2004-31808A)

(43) 公開日 平成16年1月29日(2004.1.29)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/027	HO 1 L 21/30 5 1 5 D	2 H 0 8 7
GO 2 B 13/18	GO 2 B 13/18	2 H 0 9 7
GO 2 B 17/00	GO 2 B 17/00 A	5 F 0 4 6
GO 3 F 7/20	GO 3 F 7/20 5 0 3	
GO 3 F 7/20	GO 3 F 7/20 5 2 1	
審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 19 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2002-188372 (P2002-188372)	(71) 出願人	000004112 株式会社ニコン
(22) 出願日	平成14年6月27日 (2002. 6. 27)	(74) 代理人	100112427 弁理士 藤本 芳洋
		(72) 発明者	小松田 秀基 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)	2H087 KA21 NA04 RA05 TA02 TA06 2H097 AA02 BA10 CA15 GB01 LA10 LA12 5F046 BA05 CA07 CB03 CB25

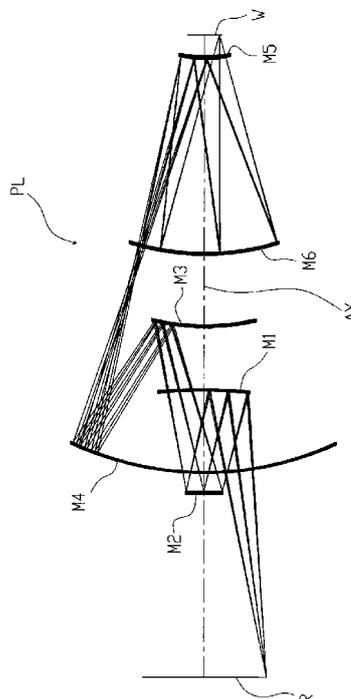
(54) 【発明の名称】 露光装置の投影光学系、該投影光学系を備えた露光装置及び該露光装置を用いた露光方法

(57) 【要約】

【課題】 光学素子の面形状を面全体において形状表現の自由度の高い表記により表現した光学素子により構成された露光装置の投影光学系を提供することである。

【解決手段】 レチクルRに形成されたパターンの像をウエハW上に投影露光する露光装置の投影光学系において、投影光学系P Lに含まれるミラー(M 1 ~ M 6)の少なくとも1つが回転対称な非球面を有し、該回転対称な非球面は、該非球面の回転軸に垂直な平面と該非球面の間隔を該回転軸に平行に計測した距離をz、該回転軸からの距離をhとすると、 $z = g(h)$ と表記され、該g(h)は、導関数が該回転軸上で零となる偶関数でない関数である。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

第 1 面に形成されたパターンの像を第 2 面上に投影露光する露光装置の投影光学系において、

前記投影光学系に含まれる光学素子の少なくとも 1 つが回転対称な非球面を有し、該回転対称な非球面は、該非球面の回転軸に垂直な平面と該非球面の間隔を該回転軸に平行に計測した距離を  $z$ 、該回転軸からの距離を  $h$  とするとき、

$$z = g(h)$$

と表記され、該  $g(h)$  は、導関数が該回転軸上で零となる偶関数でない関数であることを特徴とする露光装置の投影光学系。

10

**【請求項 2】**

前記露光装置の投影光学系は、反射系により構成される反射型投影光学系であることを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置の投影光学系。

**【請求項 3】**

前記偶関数でない関数は、ベキ級数項を有する関数であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の露光装置の投影光学系。

**【請求項 4】**

前記ベキ級数の各項の次数は、1 より大きい数の何れかであることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 の何れか一項に記載の露光装置の投影光学系。

**【請求項 5】**

前記第 1 面に設定されたマスクに露光光を照明し、該マスクに形成されたパターンの像を投影光学系を介して前記第 2 面に設定された感光基板上に投影する露光装置において、前記投影光学系は、請求項 1 乃至請求項 4 の何れか一項に記載の露光装置の投影光学系によって構成されることを特徴とする露光装置。

20

**【請求項 6】**

前記第 1 面に設定されたマスクに露光光を照明し、該露光光に基づいて前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 面に設定された感光基板上に形成する露光方法において、請求項 1 乃至請求項 4 の何れか一項に記載の露光装置の投影光学系を用いて前記パターンの像を前記感光基板上に形成することを特徴とする露光方法。

**【発明の詳細な説明】**

30

**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、基板上にマスクパターンの縮小像を形成する露光装置の投影光学系、該投影光学系を備えた露光装置及び露光方法に関するものである。

**【0002】****【従来の技術】**

従来、半導体デバイスや液晶表示デバイスをリソグラフィ技術を用いて製造する際に、パターンが形成されたマスクに露光用照明光（露光光）を照明し、このマスクのパターンの像を投影光学系を介してフォトレジスト等の感光剤が塗布された半導体ウエハやガラスプレート等の基板上に投影露光することが行われている。近年においては、パターンの微細化の要求がますます高まっているため、この投影露光を行う露光装置は、より解像力の高いものが要求されている。

40

**【0003】**

この要求を満足するためには、光源から射出される露光光の波長を短波長化し、且つ光学系の開口数（NA）を大きくしなければならない。しかしながら、露光光の波長が短くなると、光の吸収のために実用に耐える光学ガラスは限られ、例えば、波長が 180 nm 以下となると、実用上使用できる硝材は螢石だけとなる。また、さらに短波長の紫外線や X 線になると、使用できる光学ガラスは存在しなくなる。このような場合、屈折光学系だけが、または反射屈折光学系により縮小投影光学系を構成することは、全く不可能となる。

**【0004】**

50

そのため、反射系のみで投影光学系を構成する、いわゆる反射縮小投影光学系が、例えば特開平 9 - 2 1 1 3 3 2 号公報に提案されている。

【 0 0 0 5 】

【 発明が解決しようとする課題 】

ところで、投影光学系を構成するレンズ、ミラー等の光学素子の面形状には、投影光学系の収差を小さくするために非球面の面形状が用いられることがある。従来、一般には、非球面の面形状を表現するために（数式 1）を用いている。

【 0 0 0 6 】

【 数 1 】

（数式 1）

$$z = c h^2 / \{ 1 + [ 1 - ( 1 + k ) \cdot c^2 \cdot h^2 ]^{1/2} \} \\ + ( A ) h^4 + ( B ) h^6 + ( C ) h^8 + ( D ) h^{10} \\ + ( E ) h^{12} + ( F ) h^{14} + ( G ) h^{16} + ( H ) h^{18} \\ + ( J ) h^{20}$$

ここで、 $z$  は、平面からの光軸方向サグ量、 $c$  は、面頂点での曲率（ $= 1 / \text{曲率半径}$ ）、 $h$  は、光軸からの高さ、 $k$  は、円錐係数（ $k = 0$  のとき、第 1 項は球面の式、 $k = -1$  のとき、第 1 項は放物面の式になる）、 $A$  は 4 次の非球面係数、 $B$  は 6 次の非球面係数、 $C$  は 8 次の非球面係数、 $D$  は 10 次の非球面係数、 $E$  は 12 次の非球面係数、 $F$  は 14 次の非球面係数、 $G$  は 16 次の非球面係数、 $H$  は 18 次の非球面係数、 $J$  は 20 次の非球面係数である。

【 0 0 0 7 】

即ち、従来は、表現しようとしているレンズ、ミラー等の光学素子の面形状は、光軸を軸とする回転対称な面であり、その断面は光軸を挟んで線対称になることから、（数式 1）においては、2 項以下のベキ級数部分に偶数次項のみを用いていた。

【 0 0 0 8 】

しかしながら、（数式 1）によれば、面周辺部の形状表現の自由度は高いが、面中央部、即ち光軸近傍の形状表現の自由度は低くなる。これは、（数式 1）における偶数次数のベキ級数項の値の変化が光軸から離れるに従い急激になるためである。

【 0 0 0 9 】

本発明の課題は、光学素子の面形状を面全体において形状表現の自由度の高い表記により表現した光学素子により構成された露光装置の投影光学系を提供することである。また、この投影光学系を備えた露光装置及び、この露光装置を用いた露光方法を提供することである。

【 0 0 1 0 】

【 課題を解決するための手段 】

請求項 1 記載の露光装置の投影光学系は、第 1 面に形成されたパターンの像を第 2 面上に投影露光する露光装置の投影光学系において、前記投影光学系に含まれる光学素子の少なくとも 1 つが回転対称な非球面を有し、該回転対称な非球面は、該非球面の回転軸に垂直な平面と該非球面の間隔を該回転軸に平行に計測した距離を  $z$ 、該回転軸からの距離を  $h$  とするときに、 $z = g(h)$  と表記され、該  $g(h)$  は、導関数が該回転軸上で零となる、換言すれば  $dg(h)/dh = 0$  となる偶関数でない関数であることを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

本請求項 1 記載の露光装置の投影光学系によれば、回転対称な非球面形状を表現する関数は、導関数が該回転軸上で零となる偶関数でない関数であることから、非球面の面形状を滑らかにすることができる。また、非球面形状の表現自由度を大きくすることができ面形状の制御をきめ細かに行うことができる。

【 0 0 1 2 】

また、請求項 2 記載の露光装置の投影光学系は、前記露光装置の投影光学系が、反射系により構成される反射型投影光学系であることを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

10

20

30

40

50

本請求項 2 記載の露光装置の投影光学系によれば、反射型投影光学系を構成する光学素子の非球面形状をきめ細かに制御することができる。

【0014】

また、請求項 3 記載の露光装置の投影光学系は、前記偶関数でない関数が、ベキ級数項を有する関数であることを特徴とする。

【0015】

本請求項 3 記載の露光装置の投影光学系によれば、ベキ級数項として偶数次項に加えて奇数次項を用いることにより、非球面形状を表す関数の低次のパラメータを増加させることができ、非球面形状の光軸に近い箇所の面形状の制御をよりきめ細かに行うことができる。

10

【0016】

また、請求項 4 記載の露光装置の投影光学系は、前記ベキ級数の各項の次数が、1 より大きい数の何れかであることを特徴とする。

【0017】

本請求項 4 記載の露光装置の投影光学系によれば、非球面形状を表現するために、ベキ級数項の次数として 1 以上の自然数以外の数も用いるため非球面形状の表現自由度を更に大きくすることができる。

【0018】

また、請求項 5 記載の露光装置は、前記第 1 面に設定されたマスクに露光光を照明し、該マスクに形成されたパターンの像を投影光学系を介して前記第 2 面に設定された感光基板上に投影する露光装置において、前記投影光学系が、請求項 1 乃至請求項 4 の何れか一項に記載の露光装置の投影光学系によって構成されることを特徴とする。

20

【0019】

本請求項 5 記載の露光装置によれば、良好に収差補正され優れた結像性能を有する投影光学系を用いて露光処理が行われるので、微細なパターンでも精度良く形成することができる。

【0020】

また、請求項 6 記載の露光方法は、前記第 1 面に設定されたマスクに露光光を照明し、該露光光に基づいて前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 面に設定された感光基板上に形成する露光方法において、請求項 1 乃至請求項 4 の何れか一項に記載の露光装置の投影光学系を用いて前記パターンの像を前記感光基板上に形成することを特徴とする。本請求項 6 記載の露光方法によれば、良好に収差補正され優れた結像性能を有する投影光学系を用いて露光処理が行われるので、微細なパターンでも精度良く形成することができる。

30

【0021】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態に係る露光装置の投影光学系、露光装置及び露光方法について図面を参照しながら説明する。図 1 は本発明に係る露光装置の投影光学系の横断面の光路図であり、図 1 では光束の幅は横断面のみを表している。

【0022】

図 1 において、投影光学系 PL は、レチクル (第 1 面) R 上の物体の縮小像をウエハ (第 2 面) W 上に結像する反射縮小投影光学系である。この投影光学系 PL は、複数の反射鏡 (M1 ~ M6) を備えている。

40

【0023】

ここで、第 1 反射鏡 M1 は、レチクル R とウエハ W との間の光路中に配置されて凹面形状の反射面を有する。第 2 反射鏡 M2 は、第 1 反射鏡 M1 とウエハ W との間の光路中に配置されて凹面形状の反射面を有する。第 3 反射鏡 M3 は、第 2 反射鏡 M2 とウエハ W との間の光路中に配置されて凸面形状の反射面を有する。第 4 反射鏡 M4 は、第 3 反射鏡 M3 とウエハ W との間の光路中に配置されて凹面形状の反射面を有する。第 5 反射鏡 M5 は、第 4 反射鏡 M4 とウエハ W との間の光路中に配置されて凸面形状の反射面を有する。第 6 反

50

射鏡 M 6 は、第 5 反射鏡 M 5 とウエハ W との間の光路中に配置されて凹面形状の反射面を有する。

【 0 0 2 4 】

また、第 2 反射鏡 M 2 は、反射面がウエハ W 側に向くように配置され、第 2 反射鏡 M 2 の頂点とウエハ W との間に、反射面がウエハ W 側に向くように第 4 反射鏡 M 4 の頂点が位置決めされている。また、第 4 反射鏡 M 4 の頂点とウエハ W との間に、反射面がレチクル R 側に向くように第 1 反射鏡 M 1 の頂点が位置決めされている。また、第 1 反射鏡 M 1 の頂点とウエハ W との間に、反射面がレチクル R 側に向くように第 3 反射鏡 M 3 の頂点が位置決めされている。また、第 3 反射鏡 M 3 の頂点とウエハ W との間に、反射面がウエハ W 側に向くように第 6 反射鏡 M 6 の頂点が位置決めされている。また、第 6 反射鏡 M 6 の頂点とウエハ W との間に、反射面がレチクル R 側に向くように第 5 反射鏡 M 5 の頂点が位置決めされている。なお、各反射鏡 ( M 1 ~ M 6 ) の反射面は、回転対称な非球面により構成されている。ここで各反射鏡 ( M 1 ~ M 6 ) の中の何れかの反射鏡の反射面を球面により構成するようにしてもよい。

10

【 0 0 2 5 】

各反射鏡 ( M 1 ~ M 6 ) は、レチクル R 側からウエハ W 側にむかって、第 2 反射鏡 M 2 、第 4 反射鏡 M 4 、第 1 反射鏡 M 1 、第 3 反射鏡 M 3 、第 6 反射鏡 M 6 、第 5 反射鏡 M 5 の順で配置されている。このとき、各反射鏡 ( M 1 ~ M 6 ) は光軸 A X に対して同軸に配置されている。なお、反射鏡の頂点とは、投影光学系 P L の光軸 A X と反射鏡との交点であり、反射鏡が光軸上において物理的に存在しないときには、反射鏡の反射面の仮想的な延長面との交点を意味する。

20

【 0 0 2 6 】

この投影光学系 P L においては、第 4 反射鏡 M 4 と第 5 反射鏡 M 5 との間の光路中に中間像が形成される。即ち、レチクル R からの光は、第 1 反射鏡 M 1 、第 2 反射鏡 M 2 、第 3 反射鏡 M 3 、第 4 反射鏡 M 4 の順で反射された後に、第 4 反射鏡 M 4 と第 5 反射鏡 M 5 との間の光路中に中間像を形成し、この中間像からの光は第 5 反射鏡 M 5 及び第 6 反射鏡 M 6 の順で反射されウエハ W へ導かれる。

【 0 0 2 7 】

この投影光学系 P L を構成する各ミラー ( M 1 ~ M 6 ) の面形状は、( 数式 2 ) により表現される。

30

【 0 0 2 8 】

【 数 2 】

( 数式 2 )

$$Z = \frac{h^2 / r}{1 + \sqrt{1 - (1+k)h^2 / r^2}} + \sum_{n=2}^{28} C_n h^n$$

【 0 0 2 9 】

ここで、Z は、平面からの光軸方向サグ量、r は、面頂点での曲率半径、h は、光軸からの高さ ( 回転軸からの距離 )、k は、円錐係数 ( k = 0 のとき、第 1 項は球面の式、k = - 1 のとき、第 1 項は放物面の式になる )、C 2 ~ C 2 8 は、2 次 ~ 2 8 次の非球面係数である。

40

【 0 0 3 0 】

この ( 数式 2 ) は、導関数が回転軸上で零となる偶関数でない関数である。また、( 数式 2 ) は、ベキ級数項を有する関数であり、ベキ級数項の次数として奇数及び偶数の自然数が用いられる。なお、ベキ級数項の次数として奇数の自然数のみを用いるようにしてもよく、更に、ベキ級数項の次数として、1 より大きい数の何れか ( 例えば、1 . 1、1 . 3 など ) を用いるようにしてもよい。

【 0 0 3 1 】

本露光装置の投影光学系によれば、回転対称な非球面形状を表現する関数は、導関数が該回転軸上で零となる偶関数でない関数であることから、非球面の面形状を滑らかにするこ

50

とができる。また、非球面形状の表現自由度を大きくすることができ面形状の制御をきめ細かに行うことができる。

【0032】

また、ベキ級数項として偶数次項に加えて奇数次項を用いることにより、非球面形状を表す関数の低次のパラメータを増加させることができ、非球面形状の光軸に近い箇所の面形状の制御をよりきめ細かに行うことができる。更に、非球面形状を表現するために、ベキ級数項の次数として1以上の自然数以外の数も用いるため非球面形状の表現自由度を更に大きくすることができる。

【0033】

また、本実施の形態において、投影光学系PLに用いられた反射鏡は6枚と少ないので、この投影光学系PLを露光装置に適用した場合、露光光の光量の低下の恐れは低減されるとともに、反射面の面形状誤差による結像性能の劣化を招く恐れも低減される。例えば、露光光として、波長5～15nmの軟X線領域の光(EUV光)や、この波長以下の硬X線領域の光を用いた場合、この波長域における反射膜の反射率が低くても、反射面の数が6面だけなので実用上問題無い程度の光量を確保することができる。

【0034】

また、第5反射鏡M5の凹面状部分とウエハWとが対向するようにしたので、第5反射鏡M5とウエハWとの間の距離(ワーキングディスタンス)を大きくとることが可能となる。このため、このウエハWに感光基板をロードする場合などの作業性を向上させることができる。

【0035】

また、第1反射鏡M1、第3反射鏡M3及び第5反射鏡M5は、各反射面がレチクルR側に向くようにそれぞれ配置され、第2反射鏡M2、第4反射鏡M4及び第6反射鏡M6は、各反射面がウエハW側に向くようにそれぞれ配置されているので、レチクルRからの光は各反射鏡(M1～M6)間で交互に反射を繰り返しながらウエハW側に導かれる。このような構成にすることにより、光路を折り返すための平面反射鏡が不用であるとともに、レチクルRとウエハWとの距離を短くすることが可能となる。従って、投影光学系PL全体のコンパクト化を実現することができる。

【0036】

更に、各反射鏡(M1～M6)を、光軸AXに対して同軸に配置することによっても、投影光学系PL全体のコンパクト化を実現することができる。各反射鏡(M1～M6)の鏡筒組み込み・調整を容易にすることができる。

【0037】

なお、本実施の形態にかかる投影光学系PLに開口絞りを設けるようにしてもよい。この場合には、開口絞りの光軸方向の位置は、ウエハW側がテレセントリックとなるように位置決めされることが好ましく、この場合、良好な結像特性を得ることができる。開口絞りの開口部の口径を可変とすることによって収差補正を行うことができるとともに、各反射鏡(M1～M6)の反射面の非球面形状を任意に設定することによっても収差補正を行うことができる。従って、開口絞りを設ける場合においては、収差補正は、各反射鏡の反射面の形状の調整の他に、開口絞りの光軸方向の位置の調整によっても行うことができ、自由度の高い収差補正を行うことができる。

【0038】

次に、図2を参照しながら、本発明に係る投影光学系PLを備えた露光装置Eについて説明する。図2は本発明に係る投影光学系PLを備えた露光装置Eの構成図である。この露光装置Eは、反射型レチクル(マスク)Rに露光用照明光(露光光)ELを照射し、レチクルRに形成されたパターンの一部の像を投影光学系PLを介して感光基板(ウエハ)W上に投影しつつ、レチクルRと感光基板Wとを投影光学系PLに対して1次元方向(Y方向)に相対走査することによって、レチクルRのパターンの全体を感光基板W上の複数のショット領域の各々にステップ・アンド・スキャン方式で転写するものである。

【0039】

10

20

30

40

50

本実施の形態では、露光光 E L として波長 5 ~ 15 nm 程度の軟 X 線領域の光 ( E U V 光 ) が用いられている。なお、図 2 においては、投影光学系 P L の光軸方向を Z 方向とし、この Z 方向と直交する方向であってレチクル R 及び感光基板 W の走査方向を Y 方向とし、これら Y Z 方向と直交する紙面垂直方向を X 方向とする。

【 0 0 4 0 】

図 2 において、露光装置 E は、光源 3 0 からの光束をレチクルステージ R S に支持されるレチクル R に照明する照明光学系 3 と、露光光 E L で照明されたレチクル R のパターンを感光基板 W 上に投影する投影光学系 P L と、基板 W を支持する基板ステージ W S とを備えている。本実施の形態における露光光である E U V 光は、大気に対する透過率が低い  
10

【 0 0 4 1 】

図 2 における照明光学系 3 について説明する。光源 3 0 は、赤外域 ~ 可視域の波長のレーザー光を供給する機能を有し、例えば半導体レーザー励起による Y A G レーザやエキシマレーザー等を用いることができる。このレーザー光は第 1 集光光学系 3 1 により集光されて位置 3 2 に集光する。ノズル 3 3 は気体状の物体を位置 3 2 に向けて噴出し、この噴出された物体は位置 3 2 において高照度のレーザー光を受ける。このとき、噴出された物体がレーザー光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態へ遷移する際に E U V 光を放出する。

【 0 0 4 2 】

この位置 3 2 の周囲には、第 2 集光光学系を構成する楕円鏡 3 4 が配置されており、この楕円鏡 3 4 は、その第 1 焦点が位置 3 2 とほぼ一致するように位置決めされている。楕円鏡 3 4 の内表面には、E U V 光を反射するための多層膜が設けられており、ここで反射された E U V 光は、楕円鏡 3 4 の第 2 焦点で一度集光した後、第 3 集光光学系を構成するコリメート鏡としての放物面鏡 3 5 へ向かう。放物面鏡 3 5 は、その焦点が楕円鏡 3 4 の第 2 焦点位置とほぼ一致するように位置決めされており、その内表面には、E U V 光を反射するための多層膜が設けられている。  
20

【 0 0 4 3 】

放物面鏡 3 5 から射出される E U V 光は、ほぼコリメートされた状態でオプティカルインテグレートとしての反射型フライアイ光学系 3 6 へ向かう。反射型フライアイ光学系 3 6  
30

【 0 0 4 4 】

放物面鏡 3 5 からのコリメートされた E U V 光は、第 1 の反射素子群 3 6 a により波面分割され、各々の反射面からの E U V 光が集光されて複数の光源像が形成される。これら複数の光源像が形成される位置の近傍のそれぞれには、第 2 の反射素子群 3 6 b の複数の反射面が位置決めされており、これら第 2 の反射素子群 3 6 b の複数の反射面は、実質的にフィールドミラーの機能を果たす。このように、反射型フライアイ光学系 3 6 は、放物面  
40

【 0 0 4 5 】

本実施の形態では、2次光源の形状を制御するために、第 2 の反射素子群 3 6 b 近傍には、開口絞りとしての絞り A S 1 が設けられている。この絞り A S 1 は、例えば互いに形状が異なる複数の開口部をターレット状に設けたものからなる。そして、絞り制御ユニット A S C 1 により、どの開口部を光路内に配置するのかの制御が行われる。

【 0 0 4 6 】

さて、反射型フライアイ光学系 3 6 により形成された 2 次光源からの E U V 光は、この 2  
50

次光源位置の近傍が焦点位置となるように位置決めされたコンデンサミラー 37 へ向かい、このコンデンサミラー 37 にて反射集光された後に、光路折り曲げミラー 38 を介して、レチクル R に達する。これらコンデンサミラー 37 及び光路折り曲げミラー 38 の表面には、EUV 光を反射させる多層膜が設けられている。そして、コンデンサミラー 37 は、2 次光源から発する EUV 光を集光して、レチクル R を均一照明する。

【0047】

なお、本実施の形態では、レチクル R へ向かう照明光と、このレチクル R にて反射されて投影光学系 PL へ向かう EUV 光との光路分離を空間的に行うために、照明光学系 3 は非テレセントリック系であり、かつ投影光学系 PL もレチクル側非テレセントリックな光学系としている。

10

【0048】

レチクル R 上には、EUV 光を反射する多層膜からなる反射膜が設けられており、この反射膜は、感光基板 W 上へ転写すべきパターンの形状に応じたパターンとなっている。このレチクル R にて反射されて、レチクル R のパターン情報を含む EUV 光は、投影光学系 PL に入射する。

【0049】

投影光学系 PL は、図 1 において説明した通り、第 1 反射鏡 ~ 第 6 反射鏡 (M1 ~ M6) の 6 枚構成となっている。なお、投影光学系 PL に可変開口絞りが配置されている場合には、可変開口絞りの開口部の口径は可変開口絞り制御ユニット ASC2 により制御される。

20

【0050】

レチクル R にて反射された EUV 光は、投影光学系 PL を通過して、感光基板 W 上の円弧形状の露光領域内に、所定の縮小倍率 (例えば  $| \quad | = 1/4, 1/5, 1/6$ ) のもとでレチクル R のパターンの縮小像を形成する。

【0051】

レチクル R は少なくとも Y 方向に沿って移動可能なレチクルステージ RS により支持されており、感光基板 W は XYZ 方向に沿って移動可能な基板ステージ WS により支持されている。これらのレチクルステージ RS 及び基板ステージ WS の移動は、それぞれレチクルステージ制御ユニット RSC 及び基板ステージ制御ユニット WSC により制御される。露光動作の際には、照明光学系 3 によりレチクル R に対して EUV 光を照射しつつ、投影光学系 PL に対してレチクル R 及び感光基板 W を、投影光学系 PL の縮小倍率により定まる所定の速度比で移動させる。これにより、感光基板 W 上の所定のショット領域内には、レチクル R のパターンが走査露光される。

30

【0052】

なお、本実施の形態において、絞り AS1、可変開口絞り AS は、EUV 光を十分に遮光するために、Au、Ta、W などの金属から構成されることが好ましい。また、以上述べた各反射鏡 (M1 ~ M6) の表面の反射面は、EUV 光を反射するために反射膜としての多層膜が形成されている。この多層膜は、モリブデン、ルテニウム、ロジウム、珪素、珪素酸化物のうちの複数の物質を積層させて形成されている。

【0053】

なお、上述の投影光学系 PL では、各反射鏡 (M1 ~ M6) の反射面を光軸 AX に関して回転対称な高次非球面形状としているため、各反射鏡 (M1 ~ M6) にて発生する高次収差を補正して良好な結像性能を達成している。ここで、各反射鏡の反射面の面形状誤差や投影光学系の製造時における組み立て誤差等に起因する回転非対称な収差成分を補正するために、回転対称非球面を回転非対称な非球面としてもよい。

40

【0054】

本実施の形態の露光装置として、マスクと基板とを静止した状態でマスクのパターンを露光し、基板を順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート型の露光装置を用いることもできる。

【0055】

50

露光装置の用途としては半導体製造用の露光装置に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを露光する液晶用の露光装置や、薄膜磁気ヘッドを製造するための露光装置にも広く適用できる。

【0056】

基板ステージやレチクルステージにリニアモータを用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力またはリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いてもよい。また、ステージは、ガイドに沿って移動するタイプでもよいし、ガイドを設けないガイドレスタイプでもよい。

【0057】

ステージの駆動装置として平面モータを用いる場合、磁石ユニット（永久磁石）と電機子ユニットのいずれか一方をステージに接続し、磁石ユニットと電機子ユニットの他方をステージの移動面側（ベース）に設ければよい。

【0058】

レチクルステージの移動により発生する反力は、特開平8-166475号公報、特開平8-330224号公報に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしてもよい。本発明は、このような構造を備えた露光装置においても適用可能である。

【0059】

以上のように、本実施の形態の露光装置は、各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電氣的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電氣的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0060】

上述の実施の形態にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスクを照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、図2に示す実施の形態の露光装置を用いて感光基板としてのウエハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る半導体デバイスの製造方法を、図3のフローチャートを参照して説明する。

【0061】

まず、図3のステップ301において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ303において、図2に示す本実施の形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。即ち、照明光学装置によりマスクを照明し（照明工程）、マスクのパターンをウエハ上に転写する（露光工程）。

【0062】

その後、ステップ304において、その1ロットのウエハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイ

10

20

30

40

50

ス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスルーブット良く得ることができる。

【0063】

また、図2に示す本実施の形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図4のフローチャートを参照して、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を製造する方法を説明する。図4において、パターン形成工程401では、実施の形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

10

【0064】

次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリクス状に多数配列され、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

20

【0065】

その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスルーブット良く得ることができる。

【0066】

（実施例）

以下、本発明に係る投影光学系の数値実施例について説明する。実施例における各反射鏡（M1～M6）は光軸AXに関して回転対称な非球面形状を有しており、この非球面形状は上述の（数式2）で表される。なお、実施例の投影光学系PLは、EUV光の波長（露光波長）が13.4nm、縮小倍率| |が1/4倍、物体側の開口数NAが0.26、物体高が28.5～30.5であり、物体側テレセントリックに構成されている。

30

【0067】

以下の（表1）に、実施例の投影光学系PLの諸元の値を示す。（表1）において、左端には各反射面の面番号が示されている。また、曲率半径として示されているINFINITYは、その面が平面であることを示している。距離は、各反射面間の面間隔を示している。なお、曲率半径、距離を示す単位としては、例えば、mmを用いることができる。

40

【0068】

(表1)

面番号	曲率半径	次の面までの距離	面特性
物体面:	INFINITY	425.935994	
1:	-456.17243	-379.865884	反射面
2:	-283.60886	812.301158	反射面
3:	-572.19606	-284.980316	反射面
4:	-473.86081	325.006092	反射面
5:	-1850.76542	-197.830465	反射面
6:	845.19850	565.458441	反射面
像面:	INFINITY	0.000000	

10

次に、(表2)に各面の非球面係数を示す。

【0069】

## (表 2)

## 1 面 :

K: -2.3783E-04	C2: 1.7011E-07	C3: -2.6657E-12
C4: -7.2502E-11	C5: -5.1912E-15	C6: -3.8826E-16
C7: -5.2208E-20	C8: -9.9392E-21	C9: 6.3168E-24
C10: 8.7305E-25	C11: 1.9777E-28	C12: -8.9063E-29
C13: -2.0782E-32	C14: 5.8945E-33	C15: 1.8236E-36
C16: -2.5476E-37	C17: -7.0690E-41	C18: 6.6004E-42
C19: -7.2056E-46	C20: -6.8953E-47	C21: 2.4590E-51
C22: -6.6378E-54	C23: 2.5269E-55	C24: 1.2382E-57
C25: -8.9493E-63	C26: -1.0987E-64	C27: -1.1772E-66
C28: -1.7587E-73		

10

## 2 面 :

K: 2.7468E-03	C2: 1.5680E-06	C 3: -2.0660E-10
C4: 5.5851E-10	C5: -8.8949E-13	C 6: -1.3588E-12
C7: 5.4489E-16	C8: -2.0339E-17	C 9: -1.9250E-19
C10: 1.2195E-19	C11: 6.3610E-23	C 12: -1.4070E-22
C13: -2.5492E-26	C14: 1.0440E-25	C 15: 2.0453E-29
C16: -4.8789E-29	C17: 2.2276E-32	C 18: 1.2144E-32
C19: -1.2824E-36	C20: -1.3359E-36	C 21: -5.3704E-40
C22: -3.9624E-42	C23: 1.6924E-43	C 24: 1.5032E-45
C25: 2.7214E-50	C26: 9.6033E-52	C 27: 3.0943E-53
C28: 2.1198E-60		

20

30

## 3 面 :

K: 1.1161E-03	C2: 7.8019E-08	C3: -4.5369E-10
C4: -9.5050E-12	C5: 3.0907E-16	C6: 1.1734E-15
C7: 1.8487E-20	C8: -2.2897E-20	C9: -5.5240E-25

40

C10: 1.8220E-25	C11: -1.9324E-29	C12: 2.9893E-31
C13: 2.4131E-34	C14: 1.4619E-35	C15: -5.7714E-39
C16: -8.0527E-40	C17: 2.2674E-43	C18: 9.0065E-45
C19: -4.5154E-49	C20: -3.6506E-50	C21: 1.2331E-54
C22: -1.0441E-57	C23: 9.4048E-60	C24: -2.0904E-64
C25: 1.3253E-68	C26: 1.3380E-70	C27: 9.0623E-73
C28: 6.0290E-81		

10

4面:

K: 8.2662E-03	C 2: -1.9874E-06	C3: 3.9893E-09
C4: 1.8745E-09	C5: -1.9615E-13	C6: 1.6621E-14
C7: 1.5718E-17	C8: -2.1325E-18	C9: -3.7347E-22
C10: -1.5172E-22	C11: -2.6679E-25	C12: 6.6637E-26
C13: 5.1691E-29	C14: -7.5950E-30	C15: -3.3712E-33
C16: 3.4272E-34	C17: 5.4606E-37	C18: -5.2996E-39
C19: -5.3574E-42	C20: -1.9920E-43	C21: 1.6615E-46
C22: -1.8568E-48	C23: 9.8777E-51	C24: 7.6768E-53
C25: 1.4812E-58	C26: 1.5918E-60	C27: 3.3129E-63
C28: 1.7245E-68		

20

5面:

K: -9.9604E-01	C2: -2.4081E-06	C3: -2.6467E-10
C4: 1.0269E-09	C5: -7.0454E-12	C6: 4.7285E-13
C7: -8.3492E-15	C8: -2.0933E-16	C9: 5.6629E-18
C10: 3.8230E-19	C11: -4.5621E-21	C12: -5.1013E-22
C13: 1.7343E-24	C14: 4.9048E-25	C15: 1.1690E-29
C16: -2.7729E-28	C17: -1.4155E-30	C18: 1.1837E-31
C19: -2.2617E-35	C20: -1.0974E-35	C21: -2.2226E-38
C22: -1.4837E-40	C23: -3.5692E-42	C24: -2.8489E-43

30

40

C25: -7.3992E-49      C26: -8.8994E-50      C27: -4.6393E-51  
 C28: -4.1081E-58

6面:

K: 3.3526E-02      C2: -1.6755E-06      C3: -3.8464E-10  
 C4: -3.3437E-09      C5: -4.8176E-13      C6: 7.7074E-14  
 C7: 7.3939E-18      C8: -1.6031E-18      C9: -7.8250E-22  
 C10: -3.4097E-22      C11: 2.1888E-25      C12: 1.2449E-25  
 C13: 3.4107E-31      C14: -2.4267E-29      C15: -1.8952E-33  
 C16: 2.8468E-33      C17: 5.1406E-38      C18: -1.8781E-37  
 C19: 2.6081E-41      C20: 5.0429E-42      C21: 2.4427E-45  
 C22: 5.6300E-48      C23: -7.7264E-50      C24: -1.2461E-51  
 C25: -5.1895E-57      C26: -7.2591E-59      C27: -9.2420E-61  
 C28: -5.7876E-69

10

20

(比較例)

次に、比較例にかかる投影光学系の数値例について説明する。比較例における各反射鏡は光軸AXに関して回転対称な非球面形状を有しており、この非球面形状は上述の(数式1)で表される。なお、比較例の投影光学系PLは、EUV光の波長(露光波長)が13.4nm、縮小倍率| |が1/4倍、物体側の開口数NAが0.26、物体高が28.5~30.5であり、物体側テレセントリックに構成されている。

【0070】

以下の(表3)に、比較例の投影光学系PLの諸元の値を示す。(表3)において、左端には各反射面の面番号が示されている。また、曲率半径として示されているINFINITYは、その面が平面であることを示している。距離は、各反射面間の面間隔を示している。なお、曲率半径、距離を示す単位としては、例えば、mmを用いることができる。

30

【0071】

(表3)

面番号	曲率半径	次の面までの距離	面特性
物体面:	INFINITY	425.927787	
1:	-456.09141	-379.738374	反射面
2:	-283.27475	811.523851	反射面
3:	-572.17902	-284.721038	反射面
4:	-475.53173	324.721041	反射面
5:	-1873.95212	-197.953533	反射面
6:	842.28427	565.650981	反射面
像面:	INFINITY	0.000000	

40

次に、(表4)に各面の非球面係数を示す。

## (表 4)

## 1 面 :

K : 0.000000  
 A :-.729009E-10    B :-.455441E-15    C :-.425300E-20  
 D :0.336933E-24    E :-.430162E-28    F :0.327952E-32  
 G :-.150876E-36    H :0.381455E-41    J :-.406522E-46

10

## 2 面 :

K : 0.000000  
 A :0.564559E-09    B :-.138427E-11    C :-.129326E-16  
 D :0.125004E-18    E :-.151221E-21    F :0.116099E-24  
 G :-.550149E-28    H :0.145784E-31    J :-.164731E-35

## 3 面 :

K : 0.000000  
 A :-.769711E-11    B :0.113803E-14    C :-.236970E-19  
 D :0.191240E-24    E :0.475697E-30    F :0.120227E-34  
 G :-.860800E-39    H :0.107925E-43    J :-.436807E-49

20

## 4 面 :

K : 0.000000  
 A :0.187603E-08    B :0.166116E-13    C :-.257848E-17  
 D :-.883861E-22    E :0.651218E-25    F :-.831590E-29  
 G :0.489836E-33    H :-.118773E-37    J :0.238588E-43

30

## 5 面 :

K : 0.000000  
 A :0.976278E-09    B :0.695584E-13    C :-.431643E-16  
 D :0.169941E-18    E :-.357351E-21    F :0.457065E-24

40

G :-.349553E-27 H :0.147215E-30 J :-.262864E-34

6面:

K : 0.000000

A :-.335943E-08 B :0.725097E-13 C :-.128763E-17

D :-.310444E-21 E :0.110104E-24 F :-.216374E-28

G :0.259100E-32 H :-.173407E-36 J :0.496192E-41

10

(考察)

以下に、実施例及び比較例にかかる投影光学系についての波面収差、像歪みを各像高毎に示す。波面収差については、13.4nmの光を用いてウエハ側から光線追跡を行うことにより得た、波面収差のRMS値を示している。

【0072】

#### 波面収差 (RMS)

像高	比較例	実施例
28.5	0.0049	0.0044
29	0.0033	0.0031
29.5	0.0054	0.0046
30	0.0046	0.0039
30.5	0.0055	0.0054

20

#### 像歪み (理想像位置からのズレ、mm)

像高	比較例	実施例
28.5	-2.0	3.2
29	3.6	3.2
29.5	0.3	0.2
30	-3.5	-3.3
30.5	1.6	3.2

30

これらの値より、本発明により、波面収差、像歪みともに、改善されていることが明らかである。即ち、波面収差については、比較例よりも実施例の値が小さくなっており、像歪みについては、比較例よりも実施例の値のばらつきが小さくなっている。

40

【0073】

【発明の効果】

本発明の露光装置の投影光学系によれば、回転対称な非球面形状を表現する関数は、導関数が該回転軸上で零となる偶関数でない関数であることから、非球面の面を滑らかにすることができる。また、非球面形状の表現自由度を大きくすることができ面形状の制御をきめ細かに行うことができる。

【0074】

また、ベキ級数項として偶数次項に加えて奇数次項を用いることにより、非球面形状を表す関数の低次のパラメータを増加させることができ、非球面形状の光軸に近い箇所の面形

50

状の制御をよりきめ細かに行うことができる。また、非球面形状を表現するために、ベキ級数項の次数として1以上の自然数以外の数も用いるため非球面形状の表現自由度を更に大きくすることができる。

【0075】

また本発明の露光装置によれば、良好に収差補正され優れた結像性能を有する投影光学系を用いて露光処理が行われるので、微細なパターンでも精度良く形成することができる。

【0076】

また、本発明の露光方法によれば、良好に収差補正され優れた結像性能を有する投影光学系を用いて露光処理が行われるので、微細なパターンでも精度良く形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態にかかる投影光学系（実施例）の横断面の光路図である。

【図2】本発明の実施の形態にかかる投影光学系を備えた露光装置の構成を説明するための図である。

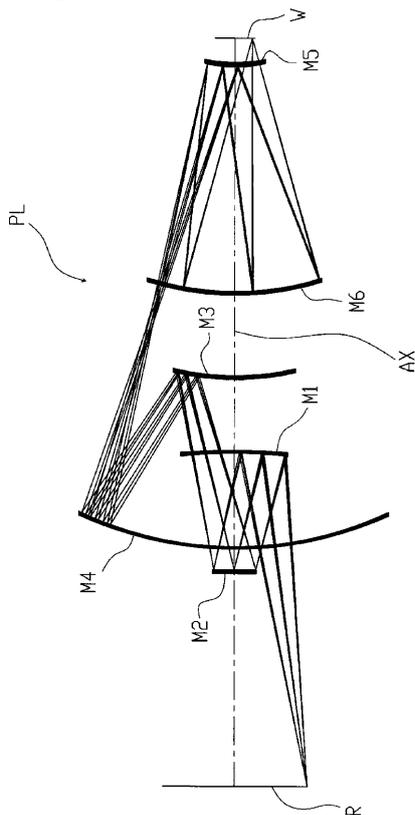
【図3】本発明の実施の形態にかかるマイクロデバイスの製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図4】本発明の実施の形態にかかるマイクロデバイスの製造方法を説明するためのフローチャートである。

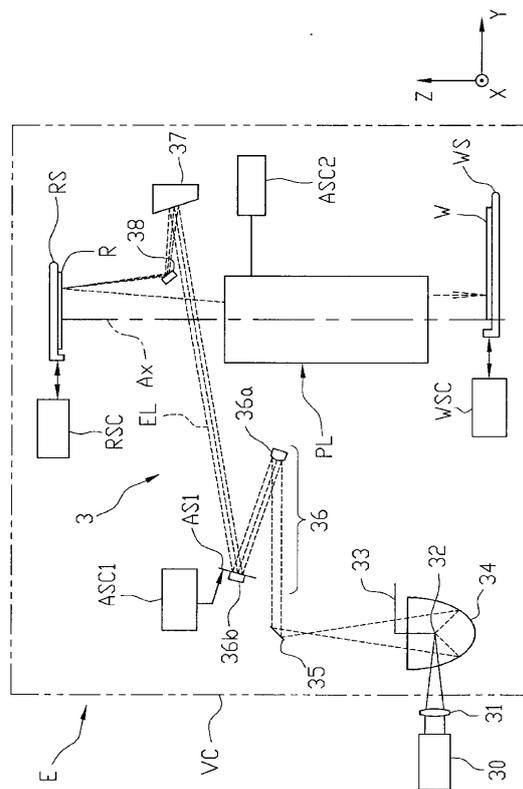
【符号の説明】

PL...投影光学系、M1...第1反射鏡、M2...第2反射鏡、M3...第3反射鏡、M4...第4反射鏡、M5...第5反射鏡、M6...第6反射鏡、AS...開口絞り、E...露光装置、30...光源、R...レチクル、W...感光基板、RS...レチクルステージ、WS...基板ステージ。

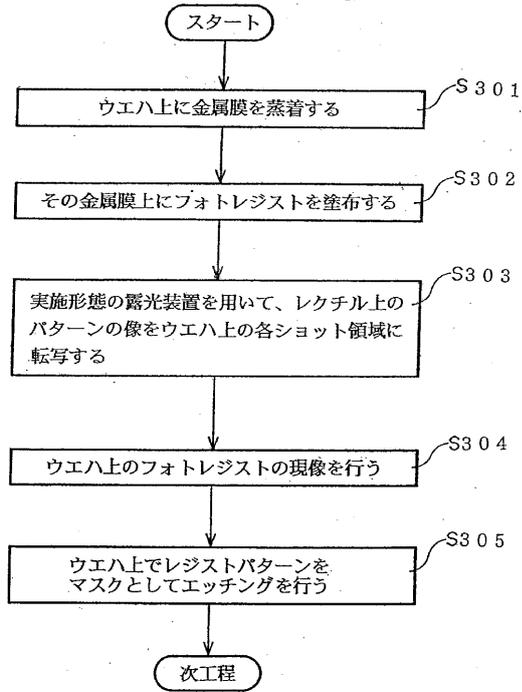
【図1】



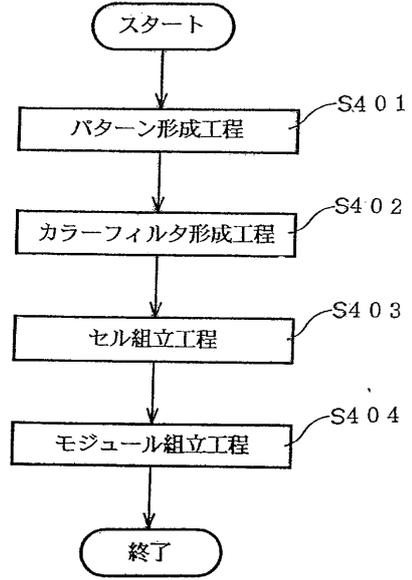
【図2】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 L 21/30 5 1 7