

(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2010-177657

(P2010-177657A)

(43) 公開日 平成22年8月12日(2010.8.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H01L 21/027 (2006.01)</b>	H01L 21/30 515D	2H052
<b>G03F 7/20 (2006.01)</b>	G03F 7/20 521	2H149
<b>G02B 19/00 (2006.01)</b>	G02B 19/00	5F046
<b>G02B 5/30 (2006.01)</b>	G02B 5/30	

審査請求 未請求 請求項の数 27 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2009-234242 (P2009-234242)  
 (22) 出願日 平成21年10月8日 (2009.10.8)  
 (31) 優先権主張番号 61/202,087  
 (32) 優先日 平成21年1月28日 (2009.1.28)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 000004112  
 株式会社ニコン  
 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号  
 (74) 代理人 100095256  
 弁理士 山口 孝雄  
 (72) 発明者 重松 幸二  
 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  
 (72) 発明者 田中 裕久  
 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  
 (72) 発明者 中島 利治  
 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) 2H052 BA02 BA09 BA12

最終頁に続く

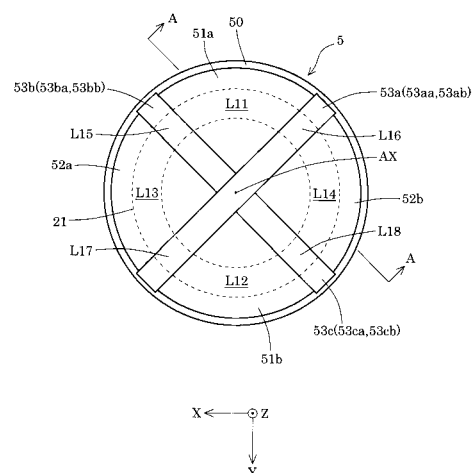
(54) 【発明の名称】 偏光変換ユニット、照明光学系、露光装置、露光方法、およびデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 周方向偏光状態から部分的に崩れた性状を有する部分周方向偏光状態に設定された輪帯状の腫強度分布を形成する。

【解決手段】 本発明の照明光学系中の偏光変換ユニット(5)は、第1方向(Y方向)に対向した第1光束(L11)および第4光束(L12)を第1の偏光状態に変換する第1偏光変換部(51a, 51b)と、第2方向(X方向)に対向した第2光束(L13)および第5光束(L14)を第2の偏光状態に変換する第2偏光変換部(52a, 52b)と、第1光束と第2光束との間の第3光束(L15)、第1光束と第5光束との間の第6光束(L16)、第4光束と第2光束との間の第7光束(L17)、第4光束と第5光束との間の第8光束(L18)を、偏光度の低い第3の偏光状態の光束に変換する第3偏光変換部(53a, 53b, 53c)とを備えている。

【選択図】 図3



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

入射光束の偏光状態を所定の偏光状態に変換して射出する偏光変換ユニットにおいて、  
前記入射光束のうち、第 1 光束を第 1 の偏光状態の光束に変換する第 1 偏光変換部と、  
前記入射光束のうち、前記第 1 光束とは異なる第 2 光束を第 2 の偏光状態の光束に変換する第 2 偏光変換部と、  
前記入射光束のうち、前記第 1 光束と前記第 2 光束との間に断面を有する第 3 光束を、  
前記第 1 の偏光状態および前記第 2 の偏光状態よりも偏光度の低い第 3 の偏光状態の光束に変換する第 3 偏光変換部とを備えていることを特徴とする偏光変換ユニット。

**【請求項 2】**

前記第 1 偏光変換部は、前記第 1 光束とは異なる第 4 光束を前記第 1 の偏光状態の光束に変換し、  
前記第 2 偏光変換部は、前記第 2 光束とは異なる第 5 光束を前記第 2 の偏光状態の光束に変換し、  
前記第 1 光束と前記第 4 光束とは第 1 方向に対向した領域に断面を有し、  
前記第 2 光束と前記第 5 光束とは前記第 1 方向と直交する第 2 方向に対向した領域に断面を有することを特徴とする請求項 1 に記載の偏光変換ユニット。

**【請求項 3】**

前記第 3 偏光変換部は、前記第 3 光束に加えて、前記第 1 光束と前記第 5 光束との間に断面を有する第 6 光束、前記第 2 光束と前記第 4 光束との間に断面を有する第 7 光束、および前記第 4 光束と前記第 5 光束との間に断面を有する第 8 光束のうち少なくとも 1 つの光束を、前記第 1 の偏光状態および前記第 2 の偏光状態よりも偏光度の低い第 3 の偏光状態の光束に変換することを特徴とする請求項 2 に記載の偏光変換ユニット。

**【請求項 4】**

前記入射光束は輪帯状の領域内に分布していることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の偏光変換ユニット。

**【請求項 5】**

前記入射光束は輪帯状の断面を有し、  
前記第 1 偏光変換部は、円弧状の断面を有する前記第 1 光束および前記第 4 光束を前記第 2 方向に偏光した直線偏光状態の光束に変換するように構成され、  
前記第 2 偏光変換部は、円弧状の断面を有する前記第 2 光束および前記第 5 光束を前記第 1 方向に偏光した直線偏光状態の光束に変換するように構成されていることを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の偏光変換ユニット。

**【請求項 6】**

前記第 3 偏光変換部は、円弧状の断面を有する前記第 3 光束に加えて、前記第 1 光束と前記第 5 光束との間に円弧状の断面を有する第 6 光束、前記第 2 光束と前記第 4 光束との間に円弧状の断面を有する第 7 光束、および前記第 4 光束と前記第 5 光束との間に円弧状の断面を有する第 8 光束を、非偏光状態の光束に変換するように構成されていることを特徴とする請求項 5 に記載の偏光変換ユニット。

**【請求項 7】**

前記第 3 偏光変換部は、円弧状の断面を有する前記第 3 光束および前記第 6 乃至前記第 8 光束を非偏光状態の光束に変換するように構成されていることを特徴とする請求項 3 に記載の偏光変換ユニット。

**【請求項 8】**

前記入射光束は直線偏光であり、  
前記第 1 偏光変換部および前記第 2 偏光変換部の少なくとも一方は、旋光性を有する光学材料により形成された平行平板の形態を有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の偏光変換ユニット。

**【請求項 9】**

前記入射光束は直線偏光であり、

10

20

30

40

50

前記第 1 偏光変換部および前記第 2 偏光変換部の少なくとも一方は、波長板を有することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の偏光変換ユニット。

【請求項 10】

前記第 3 偏光変換部は、少なくとも 1 つのデポライザを有することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の偏光変換ユニット。

【請求項 11】

前記少なくとも 1 つのデポライザは、複屈折性の結晶材料で形成された偏角プリズムの形態を有することを特徴とする請求項 10 に記載の偏光変換ユニット。

【請求項 12】

前記第 3 偏光変換部は、複屈折性の結晶材料で形成された第 1 偏角プリズムと、複屈折性の結晶材料で形成された第 2 偏角プリズムとを有し、

10

前記第 1 偏角プリズムおよび前記第 2 偏角プリズムは、結晶光学軸が互いに 45 度をなすように位置決めされていることを特徴とする請求項 10 または 11 に記載の偏光変換ユニット。

【請求項 13】

前記入射光束は直線偏光であり、

前記第 3 偏光変換部は、複屈折性の結晶材料で形成された偏角プリズムと、非複屈折性材料で形成されて前記偏角プリズムによる偏角作用を補正する補正偏角プリズムとを有し、

前記偏角プリズムは、結晶光学軸が前記入射光束の偏光方向に対して 45 度をなすように位置決めされていることを特徴とする請求項 10 または 11 に記載の偏光変換ユニット。

20

【請求項 14】

光源からの光により被照射面を照明する照明光学系と組み合わせて用いられ、前記照明光学系の照明瞳またはその近傍に配置されることを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の偏光変換ユニット。

【請求項 15】

光源からの光により被照射面を照明する照明光学系において、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置された請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の偏光変換ユニットを備えていることを特徴とする照明光学系。

30

【請求項 16】

前記偏光変換ユニットは、前記照明光学系の照明瞳またはその近傍に配置されていることを特徴とする請求項 15 に記載の照明光学系。

【請求項 17】

前記被照射面と光学的に共役な面を形成する投影光学系と組み合わせて用いられ、前記照明瞳は前記投影光学系の開口絞りと光学的に共役な位置であることを特徴とする請求項 15 または 16 に記載の照明光学系。

【請求項 18】

前記偏光変換ユニットは、前記照明光学系の照明光路に対して挿脱可能であることを特徴とする請求項 15 乃至 17 のいずれか 1 項に記載の照明光学系。

40

【請求項 19】

所定のパターンを照明するための請求項 15 乃至 18 のいずれか 1 項に記載の照明光学系を備え、前記所定のパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光装置。

【請求項 20】

前記所定のパターンの像を前記感光性基板上に形成する投影光学系を備えていることを特徴とする請求項 19 に記載の露光装置。

【請求項 21】

照明光学系を介して所定のパターンを照明する照明工程と、

前記所定のパターンを感光性基板に露光する露光工程とを備え、

前記照明工程は、前記照明光学系の照明瞳またはその近傍において入射光束の偏光状態

50

を所定の偏光状態に変換して射出する変換工程を含み、

前記変換工程は、前記入射光束のうち、第1光束を第1の偏光状態の光束に変換する第1工程と、前記入射光束のうち、前記第1光束とは異なる第2光束を第2の偏光状態の光束に変換する第2工程と、前記入射光束のうち、前記第1光束と前記第2光束との間に断面を有する第3光束を、前記第1の偏光状態および前記第2の偏光状態よりも偏光度の低い第3の偏光状態の光束に変換する第3工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項22】

前記第1工程では、前記第1光束とは異なる第4光束を前記第1の偏光状態の光束に変換し、

前記第2工程は、前記第2光束とは異なる第5光束を前記第2の偏光状態の光束に変換し、

前記第1光束と前記第4光束とは第1方向に対向した領域に断面を有し、

前記第2光束と前記第5光束とは前記第1方向と直交する第2方向に対向した領域に断面を有することを特徴とする請求項21に記載の露光方法。

【請求項23】

前記第3工程では、前記第3光束に加えて、前記第1光束と前記第5光束との間に断面を有する第6光束、前記第2光束と前記第4光束との間に断面を有する第7光束、および前記第4光束と前記第5光束との間に断面を有する第8光束のうち少なくとも1つの光束を、前記第1の偏光状態および前記第2の偏光状態よりも偏光度の低い第3の偏光状態の光束に変換することを特徴とする請求項22に記載の露光方法。

【請求項24】

前記入射光束は輪帯状の領域内に分布していることを特徴とする請求項21乃至23のいずれか1項に記載の露光方法。

【請求項25】

前記入射光束は輪帯状の断面を有し、

前記第1工程では、円弧状の断面を有する前記第1光束および前記第4光束を前記第2方向に偏光した直線偏光状態の光束に変換し、

前記第2工程では、円弧状の断面を有する前記第2光束および前記第5光束を前記第1方向に偏光した直線偏光状態の光束に変換し、

前記第3工程では、円弧状の断面を有する前記第3光束および前記第6乃至前記第8光束を非偏光状態の光束に変換することを特徴とする請求項23に記載の露光方法。

【請求項26】

請求項19または20に記載の露光装置を用いて、前記所定のパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、

前記所定のパターンが転写された前記感光性基板を現像し、前記所定のパターンに対応する形状のマスク層を前記感光性基板の表面に形成する現像工程と、

前記マスク層を介して前記感光性基板の表面を加工する加工工程とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項27】

請求項21乃至25のいずれか1項に記載の露光方法を用いて、前記所定のパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、

前記所定のパターンが転写された前記感光性基板を現像し、前記所定のパターンに対応する形状のマスク層を前記感光性基板の表面に形成する現像工程と、

前記マスク層を介して前記感光性基板の表面を加工する加工工程とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、偏光変換ユニット、照明光学系、露光装置、露光方法、およびデバイス製造方法に関する。さらに詳細には、本発明は、例えば半導体素子、撮像素子、液晶表示素子

10

20

30

40

50

、薄膜磁気ヘッド等のデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置に好適な照明光学系に関するものである。

【背景技術】

【0002】

この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光が、オプティカルインテグレートとしてのフライアイレンズを介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源を形成する。二次光源からの光は、コンデンサー光学系により集光された後、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクを透過した光は投影光学系を介してウェハ（感光性基板）上に結像し、ウェハ上にはマスクパターンが投影露光（転写）される。マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

10

【0003】

近年、任意方向の微細パターンを忠実に転写するのに適した照明条件を実現するために、フライアイレンズの後側焦点面またはその近傍の照明瞳に輪帯状の二次光源（輪帯状の瞳強度分布）を形成し、この輪帯状の二次光源を通過する光束がその周方向を偏光方向とする直線偏光状態（以下、略して「周方向偏光状態」という）になるように設定する技術が提案されている（例えば、特許文献1を参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0004】

【特許文献1】国際公開第2005/076045号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ロッド型インテグレートのような内面反射型のオプティカルインテグレートを用いる露光装置（以下、「内面反射タイプの露光装置」という）では、オプティカルインテグレートよりも前側において周方向偏光状態に設定された輪帯状の瞳強度分布を形成しても、複数回に亘る内面反射の影響により、オプティカルインテグレートよりも後側の照明瞳、とりわけ投影光学系の瞳面に形成される輪帯状の瞳強度分布は周方向偏光状態から部分的に崩れた偏光状態に変化する傾向がある。その結果、内面反射タイプの露光装置においてパターンを所望の線幅でウェハに転写できるように調整されたマスクを、フライアイレンズのような波面分割型のオプティカルインテグレートを用いる露光装置（以下、「波面分割タイプの露光装置」という）に適用すると、パターンの特性に応じてウェハに転写される線幅が変動するという不都合があった。

30

【0006】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、周方向偏光状態から部分的に崩れた性状を有する部分周方向偏光状態に設定されて輪帯状の領域内に分布する瞳強度分布を形成することを目的とする。また、本発明は、部分周方向偏光状態に設定されて輪帯状の領域内に分布する瞳強度分布を形成する照明光学系を用いて、内面反射タイプの露光装置用に調整されたマスクのパターンを所望の線幅で感光性基板に転写することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、入射光束の偏光状態を所定の偏光状態に変換して射出する偏光変換ユニットにおいて、

前記入射光束のうち、第1光束を第1の偏光状態の光束に変換する第1偏光変換部と、

前記入射光束のうち、前記第1光束とは異なる第2光束を第2の偏光状態の光束に変換する第2偏光変換部と、

前記入射光束のうち、前記第1光束と前記第2光束との間に断面を有する第3光束を、

50

前記第 1 の偏光状態および前記第 2 の偏光状態よりも偏光度の低い第 3 の偏光状態の光束に変換する第 3 偏光変換部とを備えていることを特徴とする偏光変換ユニットを提供する。

【 0 0 0 8 】

本発明の第 2 形態では、光源からの光により被照射面を照明する照明光学系において、前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置された第 1 形態の偏光変換ユニットを備えていることを特徴とする照明光学系を提供する。

【 0 0 0 9 】

本発明の第 3 形態では、所定のパターンを照明するための第 2 形態の照明光学系を備え、前記所定のパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光装置を提供する。

10

【 0 0 1 0 】

本発明の第 4 形態では、照明光学系を介して所定のパターンを照明する照明工程と、前記所定のパターンを感光性基板に露光する露光工程とを備え、前記照明工程は、前記照明光学系の照明瞳またはその近傍において入射光束の偏光状態を所定の偏光状態に変換して射出する変換工程を含み、前記変換工程は、前記入射光束のうち、第 1 光束を第 1 の偏光状態の光束に変換する第 1 工程と、前記入射光束のうち、前記第 1 光束とは異なる第 2 光束を第 2 の偏光状態の光束に変換する第 2 工程と、前記入射光束のうち、前記第 1 光束と前記第 2 光束との間に断面を有する第 3 光束を、前記第 1 の偏光状態および前記第 2 の偏光状態よりも偏光度の低い第 3 の偏光状態の光束に変換する第 3 工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。

20

【 0 0 1 1 】

本発明の第 5 形態では、第 3 形態の露光装置を用いて、前記所定のパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、前記所定のパターンが転写された前記感光性基板を現像し、前記所定のパターンに対応する形状のマスク層を前記感光性基板の表面に形成する現像工程と、前記マスク層を介して前記感光性基板の表面を加工する加工工程とを含むことを特徴とするデバイス製造方法を提供する。

【 0 0 1 2 】

本発明の第 6 形態では、第 4 形態の露光方法を用いて、前記所定のパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、前記所定のパターンが転写された前記感光性基板を現像し、前記所定のパターンに対応する形状のマスク層を前記感光性基板の表面に形成する現像工程と、前記マスク層を介して前記感光性基板の表面を加工する加工工程とを含むことを特徴とするデバイス製造方法を提供する。

30

【 発明の効果 】

【 0 0 1 3 】

本発明の一態様にしたがう照明光学系では、入射光束の偏光状態を所定の偏光状態に変換して射出する偏光変換ユニットの作用により、周方向偏光状態から部分的に崩れた性状、例えば内面反射タイプの露光装置においてオプティカルインテグレートよりも後側の照明瞳に形成される輪帯状の瞳強度分布と類似した性状を有する部分周方向偏光状態に設定されて輪帯状の領域内に分布する瞳強度分布を形成することができる。

40

【 0 0 1 4 】

また、本発明の一態様にしたがう露光装置では、周方向偏光状態から部分的に崩れた性状、すなわち内面反射タイプの露光装置における偏光状態と類似の性状を有する部分周方向偏光状態に設定されて輪帯状の領域内に分布する瞳強度分布が形成されるので、内面反射タイプの露光装置用に調整されたマスクを使用しても、パターンを感光性基板に所望の線幅で転写することができ、ひいては良好なデバイスを製造することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 5 】

50

【図 1】本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 2】アフォーカルレンズの瞳面に輪帯状の光強度分布が形成される様子を示す図である。

【図 3】本実施形態の偏光変換ユニットの構成を概略的に示す図である。

【図 4】図 3 の線 A - A に沿った断面図である。

【図 5】水晶の旋光性について説明する図である。

【図 6】マイクロフライアイレンズの後側焦点面またはその近傍の照明瞳に形成される輪帯状の光強度分布を示す図である。

【図 7】マイクロフライアイレンズの後側焦点面またはその近傍の照明瞳に形成されて輪帯状の領域内に分布する複数極状の光強度分布を示す図である。

【図 8】半導体デバイスの製造工程を示すフローチャートである。

【図 9】液晶表示素子等の液晶デバイスの製造工程を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0016】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図 1 は、本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。図 1 において、感光性基板であるウェハ W の露光面（転写面）の法線方向に沿って Z 軸を、ウェハ W の露光面内において図 1 の紙面に平行な方向に Y 軸を、ウェハ W の露光面内において図 1 の紙面に垂直な方向に X 軸をそれぞれ設定している。

【0017】

図 1 を参照すると、本実施形態の露光装置では、光源 L S から露光光（照明光）が供給される。光源 L S として、たとえば 193 nm の波長の光を供給する ArF エキシマレーザ光源や 248 nm の波長の光を供給する KrF エキシマレーザ光源などを用いることができる。光源 L S から射出された光束は、整形光学系 1、偏光状態切換部 2、および回折光学素子 3 を介して、アフォーカルレンズ 4 に入射する。整形光学系 1 は、光源 L S からのほぼ平行な光束を所定の矩形状の断面を有する光束に変換して偏光状態切換部 2 へ導く機能を有する。

【0018】

偏光状態切換部 2 は、光源側から順に、光軸 A X を中心として結晶光学軸が回転自在に構成されて入射する楕円偏光の光を直線偏光の光に変換する 1/4 波長板 2 a と、光軸 A X を中心として結晶光学軸が回転自在に構成されて入射する直線偏光の偏光方向を変化させる 1/2 波長板 2 b と、照明光路に対して挿脱自在なデポライザ（非偏光化素子）2 c とを備えている。偏光状態切換部 2 は、デポライザ 2 c を照明光路から退避させた状態で、光源 L S からの光を所望の偏光方向を有する直線偏光の光に変換して回折光学素子 3 へ入射させる機能を有し、デポライザ 2 c を照明光路中に設定した状態で、光源 L S からの光を実質的に非偏光の光に変換して回折光学素子 3 へ入射させる機能を有する。

【0019】

アフォーカルレンズ 4 は、その前側焦点位置と回折光学素子 3 の位置とがほぼ一致し且つその後側焦点位置と図中破線で示す所定面 I P の位置とがほぼ一致するように設定されたアフォーカル系（無焦点光学系）である。回折光学素子 3 は、基板に露光光（照明光）の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。以下、説明を簡単にするために、回折光学素子 3 は、輪帯照明用の回折光学素子であるものとする。

【0020】

輪帯照明用の回折光学素子 3 は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファーストフィールド（またはフラウンホーファー回折領域）に輪帯状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子 3 に入射したほぼ平行光束は、図 2 に示すように、アフォーカルレンズ 4 の瞳面に輪帯状の光強度分布 2 1 を形成した後、輪帯状の角度分布でアフォーカルレンズ 4 から射出される。アフォーカルレンズ 4 の前側レンズ群 4 a と後側レンズ群 4 b との間の光路中において、その瞳位置またはその近傍には、偏光変換

10

20

30

40

50

ユニット 5 および円錐アキシコン系 6 が配置されている。偏光変換ユニット 5 の具体的な構成および作用については後述する。また、円錐アキシコン系 6 の構成および作用についても後述する。

【 0 0 2 1 】

アフォーカルレンズ 4 を介した光は、値 ( 値 = 照明光学系のマスク側開口数 / 投影光学系のマスク側開口数 ) 可変用のズームレンズ 7 を介して、オプティカルインテグレータとしてのマイクロフライアイレンズ ( またはフライアイレンズ ) 8 に入射する。マイクロフライアイレンズ 8 は、例えば縦横に且つ稠密に配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子であって、平行平板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成されている。

10

【 0 0 2 2 】

マイクロフライアイレンズを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロフライアイレンズは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズ ( 微小屈折面 ) が互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロフライアイレンズはフライアイレンズと同じ波面分割型のオプティカルインテグレータである。なお、マイクロフライアイレンズ 8 として、例えばシリンドリカルマイクロフライアイレンズを用いることもできる。シリンドリカルマイクロフライアイレンズの構成および作用は、例えば米国特許第 6 9 1 3 3 7 3 号公報に開示されている。

20

【 0 0 2 3 】

所定面 I P の位置はズームレンズ 7 の前側焦点位置またはその近傍に配置され、マイクロフライアイレンズ 8 の入射面はズームレンズ 7 の後側焦点位置またはその近傍に配置されている。換言すると、ズームレンズ 7 は、所定面 I P とマイクロフライアイレンズ 8 の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に配置し、ひいてはアフォーカルレンズ 4 の瞳面とマイクロフライアイレンズ 8 の入射面とを光学的にほぼ共役に配置している。

【 0 0 2 4 】

したがって、マイクロフライアイレンズ 8 の入射面上には、アフォーカルレンズ 4 の瞳面と同様に、たとえば光軸 A X を中心とした輪帯状の照野が形成される。この輪帯状の照野の全体形状は、ズームレンズ 7 の焦点距離に依存して相似的に変化する。マイクロフライアイレンズ 8 に入射した光束は二次元的に分割され、その後側焦点面またはその近傍の位置には、マイクロフライアイレンズ 8 の入射面に形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸 A X を中心とした輪帯状の実質的な面光源からなる二次光源 ( 瞳強度分布 ) が形成される。

30

【 0 0 2 5 】

マイクロフライアイレンズ 8 の後側焦点面またはその近傍には、必要に応じて、輪帯状の二次光源に対応した輪帯状の開口部 ( 光透過部 ) を有する照明開口絞り 9 が配置されている。照明開口絞り 9 は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ大きさおよび形状の異なる開口部を有する複数の開口絞りと切り換え可能に構成されている。開口絞りの切り換え方式として、たとえば周知のターレット方式やスライド方式などを用いることができる。照明開口絞り 9 は、投影光学系 P L の入射瞳面と光学的にほぼ共役な位置に配置され、二次光源の照明に寄与する範囲を規定する。

40

【 0 0 2 6 】

マイクロフライアイレンズ 8 および照明開口絞り 9 を経た光は、コンデンサー光学系 1 0 を介して、マスクブラインド 1 1 を重畳的に照明する。こうして、照明視野絞りとしてのマスクブラインド 1 1 には、マイクロフライアイレンズ 8 の微小レンズの形状と焦点距離とに応じた矩形状の照野が形成される。マスクブラインド 1 1 の矩形状の開口部 ( 光透過部 ) を経た光は、前側レンズ群 1 2 a と後側レンズ群 1 2 b とからなる結像光学系 1 2 を介して、所定のパターンが形成されたマスク M を重畳的に照明する。すなわち、結像光学系 1 2 は、マスクブラインド 1 1 の矩形状開口部の像をマスク M 上に形成することにな

50

る。

【0027】

マスクステージMS上に保持されたマスクMには、転写すべきパターンが形成されている。マスクMのパターンを透過した光は、投影光学系PLを介して、ウェハステージWS上に保持されたウェハ（感光性基板）W上にマスクパターンの像を形成する。こうして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面（XY平面）内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはマスクMのパターンが逐次露光される。

【0028】

円錐アキシコン系6は、光源側から順に、光源側に平面を向け且つマスク側に凹円錐状の屈折面を向けた第1プリズム部材6aと、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸円錐状の屈折面を向けた第2プリズム部材6bとから構成されている。そして、第1プリズム部材6aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム部材6bの凸円錐状の屈折面とは、互いに当接可能なように相補的に形成されている。また、第1プリズム部材6aおよび第2プリズム部材6bのうち少なくとも一方の部材が光軸AXに沿って移動可能に構成され、第1プリズム部材6aと第2プリズム部材6bとの間隔が可変に構成されている。

10

【0029】

ここで、第1プリズム部材6aと第2プリズム部材6bとが互いに当接している状態では、円錐アキシコン系6は平行平板として機能し、形成される輪帯状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、第1プリズム部材6aと第2プリズム部材6bとを離間させると、輪帯状の二次光源の幅（輪帯状の二次光源の外径と内径との差の1/2）を一定に保ちつつ、輪帯状の二次光源の外径（内径）が変化する。すなわち、輪帯状の二次光源の輪帯比（内径/外径）および大きさ（外径）が変化する。

20

【0030】

ズームレンズ7は、輪帯状の二次光源の全体形状を相似的に拡大または縮小する機能を有する。たとえば、ズームレンズ7の焦点距離を最小値から所定の値へ拡大させることにより、輪帯状の二次光源の全体形状が相似的に拡大される。換言すると、ズームレンズ7の作用により、輪帯状の二次光源の輪帯比が変化することなく、その幅および大きさ（外径）がともに変化する。このように、円錐アキシコン系6およびズームレンズ7の作用により、輪帯状の二次光源の輪帯比と大きさ（外径）とを制御することができる。

30

【0031】

本実施形態では、上述したように、マイクロフライアイレンズ8により形成される二次光源を光源として、照明光学系（1～12）の被照射面に配置されるマスクMをケラー照明する。このため、二次光源が形成される位置は投影光学系PLの開口絞りASの位置と光学的に共役であり、二次光源の形成面を照明光学系（1～12）の照明瞳面と呼ぶことができる。典型的には、照明瞳面に対して被照射面（マスクMが配置される面、または投影光学系PLを含めて照明光学系と考える場合にはウェハWが配置される面）が光学的なフーリエ変換面となる。

【0032】

なお、瞳強度分布とは、照明光学系（1～12）の照明瞳面または当該照明瞳面と光学的に共役な面における光強度分布（輝度分布）である。マイクロフライアイレンズ8による波面分割数が比較的大きい場合、マイクロフライアイレンズ8の入射面に形成される大局的な光強度分布と、二次光源全体の大局的な光強度分布（瞳強度分布）とが高い相関を示す。このため、マイクロフライアイレンズ8の入射面および当該入射面と光学的に共役な面における光強度分布についても瞳強度分布と称することができる。すなわち、マイクロフライアイレンズ8の入射面と光学的に共役な面であるアフォーカルレンズ4の瞳面も照明瞳面と呼ぶことができる。

40

【0033】

輪帯照明用の回折光学素子3に代えて、複数極照明（2極照明、4極照明、8極照明など）用の回折光学素子（不図示）を照明光路中に設定することによって、複数極照明を行

50

うことができる。複数極照明用の回折光学素子は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファーフールドに複数極状（2極状、4極状、8極状など）の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、複数極照明用の回折光学素子を介した光束は、マイクロフライアイレンズ8の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした複数の所定形状（円弧状、円形状など）の照野からなる複数極状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイレンズ8の後側焦点面またはその近傍にも、その入射面に形成された照野と同じ複数極状の二次光源が形成される。

#### 【0034】

また、輪帯照明用の回折光学素子3に代えて、円形照明用の回折光学素子（不図示）を照明光路中に設定することによって、通常円形照明を行うことができる。円形照明用の回折光学素子は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファーフールドに円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、円形照明用の回折光学素子を介した光束は、マイクロフライアイレンズ8の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした円形状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイレンズ8の後側焦点面またはその近傍にも、その入射面に形成された照野と同じ円形状の二次光源が形成される。また、輪帯照明用の回折光学素子3に代えて、適当な特性を有する回折光学素子（不図示）を照明光路中に設定することによって、様々な形態の変形照明を行うことができる。回折光学素子3の切り換え方式として、たとえば周知のターレット方式やスライド方式などを用いることができる。

#### 【0035】

本実施形態では、輪帯照明に際して、偏光状態切換部2の作用により、Y方向に偏光した直線偏光の光が偏光変換ユニット5に入射する。偏光変換ユニット5は、図3および図4に示すように、基盤50と、基盤50に取り付けられた4つの扇形状の旋光素子51a、51b、52a、52bと、基盤50に取り付けられた3つのプリズム組立体53a、53b、53cとを備えている。基盤50は、例えば光軸AXを中心とする円形状の外形状を有し、石英または蛍石のような光学材料により形成された平行平板の形態を有する。

#### 【0036】

各旋光素子51a、51b、52a、52bは、例えば光軸AXを中心とする円を4等分して得られる扇形状の外形状を有し、且つ水晶のような旋光性を有する光学材料により形成された平行平板の形態を有する。各プリズム組立体53a、53b、53cは、デポラライザ（偏光解消素子）として機能する一対の偏角プリズム53aa、53ab；53ba、53bb；53ca、53cbにより構成されている。各偏角プリズムは例えば複屈折性の結晶材料である水晶により形成され、且つ互いに対向する一対の偏角プリズム53aaと53ab、53baと53bb、53caと53cbとは相補的な形状を有する。

#### 【0037】

第1プリズム組立体53aは、光軸AXを通過して+X軸および+Y軸と45度をなす直線に沿って基盤50の外周の一端近傍から他端近傍まで延びるように配置されている。第2プリズム組立体53bは、光軸AXを通過して+X軸および-Y軸と45度をなす直線に沿って第1プリズム組立体53aの外周近傍から基盤50の外周近傍まで延びるように配置されている。第3プリズム組立体53cは、光軸AXを通過して-X軸および+Y軸と45度をなす直線に沿って第1プリズム組立体53aの外周近傍から基盤50の外周近傍まで延びるように配置されている。

#### 【0038】

第1旋光素子51aと第2旋光素子51bとは光軸AXを挟んでY方向に対向するように配置され、第3旋光素子52aと第2旋光素子52bとは光軸AXを挟んでX方向に対向するように配置されている。具体的に、第1旋光素子51aは、第1プリズム組立体53aの-Y方向側（ひいては-X方向側）の部分の外周および第2プリズム組立体53bの外周とほぼ接するように配置されている。第2旋光素子51bは、第1プリズム組立体

10

20

30

40

50

5 3 a の + Y 方向側（ひいては + X 方向側）の部分の外周および第 3 プリズム組立体 5 3 c の外周とほぼ接するように配置されている。

【 0 0 3 9 】

第 3 旋光素子 5 2 a は、第 1 プリズム組立体 5 3 a の + Y 方向側の部分の外周および第 2 プリズム組立体 5 3 b の外周とほぼ接するように配置されている。第 4 旋光素子 5 2 b は、第 1 プリズム組立体 5 3 a の - Y 方向側の部分の外周および第 3 プリズム組立体 5 3 c の外周とほぼ接するように配置されている。そして、各旋光素子 5 1 a , 5 1 b , 5 2 a , 5 2 b は、その結晶光学軸が Z 方向に延びるように（光軸 A X と平行に延びるように）、すなわち入射光の進行方向とほぼ一致するように設定されている。また、光軸 A X を挟んで Y 方向に対向する一対の旋光素子 5 1 a と 5 1 b とは互いに同じ厚さを有し、光軸 A X を挟んで X 方向に対向する一対の旋光素子 5 2 a と 5 2 b とは互いに同じ厚さを有する。

10

【 0 0 4 0 】

以下、図 5 を参照して、水晶の旋光性について簡単に説明する。図 5 を参照すると、厚さ d の水晶からなる平行平板状の光学部材 1 0 0 が、その結晶光学軸と光軸 A X とが一致するように配置されている。この場合、光学部材 1 0 0 の旋光性により、入射した直線偏光の偏光方向が光軸 A X 廻りに だけ回転した状態で射出される。このとき、光学部材 1 0 0 の旋光性による偏光方向の回転角（旋光角度） は、光学部材 1 0 0 の厚さ d と水晶の旋光能 とにより、次の式（ a ）で表わされる。

$$= d \cdot \quad ( a )$$

20

【 0 0 4 1 】

一般に、水晶の旋光能 は、波長依存性（使用光の波長に依存して旋光能の値が異なる性質：旋光分散）があり、具体的には使用光の波長が短くなると大きくなる傾向がある。「応用光学II」の第 1 6 7 頁の記述によれば、2 5 0 . 3 n m の波長を有する光に対する水晶の旋光能 は、1 5 3 . 9 度 / m m である。

【 0 0 4 2 】

本実施形態において、旋光素子 5 1 a および 5 1 b は、Y 方向に偏光方向を有する直線偏光の光が入射した場合、Y 方向を Z 軸廻りに + 9 0 度回転させた方向すなわち X 方向に偏光方向を有する直線偏光の光を射出するように厚さが設定されている。したがって、図 3 に示す輪帯状の光強度分布（図 3 中破線で示す）2 1 を形成する光束のうち、一対の旋光素子 5 1 a および 5 1 b の旋光作用を受けた第 1 光束 L 1 1 および第 4 光束 L 1 2 の偏光方向は X 方向になる。

30

【 0 0 4 3 】

旋光素子 5 2 a および 5 2 b は、Y 方向に偏光方向を有する直線偏光の光が入射した場合、Y 方向を Z 軸廻りに + 1 8 0 度回転させた方向すなわち Y 方向に偏光方向を有する直線偏光の光を射出するように厚さが設定されている。したがって、図 3 に示す輪帯状の光強度分布 2 1 を形成する光束のうち、一対の旋光素子 5 2 a および 5 2 b の旋光作用を受けた第 2 光束 L 1 3 および第 5 光束 L 1 4 の偏光方向は Y 方向になる。

【 0 0 4 4 】

各プリズム組立体 5 3 a , 5 3 b , 5 3 c では、互いに対向する一対の偏角プリズム 5 3 a a と 5 3 a b , 5 3 b a と 5 3 b b , 5 3 c a と 5 3 c b とにおいて、その結晶光学軸が X Y 平面に沿って互いに 4 5 度をなすように配置されている。したがって、図 3 に示す輪帯状の光強度分布 2 1 を形成する光束のうち、第 2 プリズム組立体 5 3 b の作用を受けた第 3 光束 L 1 5 、第 1 プリズム組立体 5 3 a の - Y 方向側の部分の作用を受けた第 6 光束 L 1 6 、第 1 プリズム組立体 5 3 a の + Y 方向側の部分の作用を受けた第 7 光束 L 1 7 、および第 2 プリズム組立体 5 3 b の作用を受けた第 8 光束 L 1 8 は、入射光の偏光状態にかかわらず実質的に非偏光状態の光束になる。

40

【 0 0 4 5 】

こうして、本実施形態において回折光学素子 3 および偏光変換ユニット 5 の作用を受けた光は、マイクロフライアイレンズ 8 の後側焦点面またはその近傍の照明瞳に、図 6 に示

50

すように周方向偏光状態から部分的に崩れた性状を有する部分周方向偏光状態に設定された輪帯状の瞳強度分布 2 2 を形成する。輪帯状の瞳強度分布 2 2 において、光軸 A X を挟んで Y 方向に対向する一对の円弧状の断面を有する第 1 光束 L 2 1 および第 4 光束 L 2 2 は、偏光変換ユニット 5 の一对の旋光素子 5 1 a , 5 1 b を経た光束 L 1 1 , L 1 2 に対応しており、X 方向に偏光した直線偏光状態である。

【 0 0 4 6 】

光軸 A X を挟んで X 方向に対向する一对の円弧状の断面を有する第 2 光束 L 2 3 および第 5 光束 L 2 4 は、偏光変換ユニット 5 の一对の旋光素子 5 2 a , 5 2 b を経た光束 L 1 3 , L 1 4 に対応しており、Y 方向に偏光した直線偏光状態である。第 1 光束 L 2 1 と第 2 光束 L 2 3 との間の第 3 光束 L 2 5、第 1 光束 L 2 1 と第 5 光束 L 2 4 との間の第 6 光束 L 2 6、第 4 光束 L 2 2 と第 2 光束 L 2 3 との間の第 7 光束 L 2 7、および第 4 光束 L 2 2 と第 5 光束 L 2 4 との間の第 8 光束 L 2 8 は、偏光変換ユニット 5 のプリズム組立体 5 3 a , 5 3 b , 5 3 c を経た光束 L 1 5 ~ L 1 8 に対応しており、実質的に非偏光状態である。

10

【 0 0 4 7 】

前述したように、ロッド型インテグレートのような内面反射型のオプティカルインテグレートを用いる内面反射タイプの露光装置では、オプティカルインテグレートよりも前側において所望の周方向偏光状態に設定された輪帯状の瞳強度分布を形成しても、複数回に亘る内面反射の影響により、オプティカルインテグレートよりも後側の照明瞳、とりわけ投影光学系の瞳面に形成される輪帯状の瞳強度分布は周方向偏光状態から部分的に崩れた偏光状態に変化する傾向がある。

20

【 0 0 4 8 】

具体的には、矩形状の断面を有するロッド型インテグレートを用いる場合、輪帯状の瞳強度分布において矩形状の断面の縦方向に間隔を隔てて対向する一对の領域（例えば図 6 の光束 L 2 1 , L 2 2 に対応）の偏光状態および矩形状の断面の横方向に間隔を隔てて対向する一对の領域（例えば図 6 の光束 L 2 3 , L 2 4 に対応）の偏光状態は、複数回に亘る内面反射の影響をあまり受けることなく、所要の直線偏光状態がほぼ維持される。しかしながら、輪帯状の瞳強度分布において矩形状の断面の対角線方向に間隔を隔てて対向する 4 つの領域（例えば図 6 の光束 L 2 5 ~ L 2 8 に対応）の偏光状態は、複数回に亘る内面反射の影響を受けて、直線偏光状態よりも偏光度のかなり低い偏光状態に変化する傾向がある。

30

【 0 0 4 9 】

ちなみに、偏光度 V は、次の式 ( b ) により表わされる。式 ( b ) において、 $S_0$  は全強度を、 $S_1$  は水平直線偏光強度マイナス垂直直線偏光強度を、 $S_2$  は 4 5 度直線偏光強度マイナス 1 3 5 度直線偏光強度を、 $S_3$  は右まわり円偏光強度マイナス左まわり円偏光強度をそれぞれ表わしている。

$$V = ( S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 )^{1/2} / S_0 \quad ( b )$$

【 0 0 5 0 】

その結果、内面反射タイプの露光装置においてパターンを所望の線幅で転写できるように調整されたマスクを、本実施形態のように波面分割型のオプティカルインテグレートを用いる波面分割タイプの露光装置に適用すると、パターンの特性に応じて線幅が変動するという不都合があった。具体的には、内面反射タイプの露光装置用に調整されたマスクのパターンのうち、例えばライン部とスペース部とのピッチ方向の寸法（幅寸法）が互いにほぼ等しいパターンを所望の線幅で転写できるように、波面分割タイプの露光装置において照明条件を設定すると、ライン部の幅寸法に比してスペース部の幅寸法のかなり大きいパターン、すなわち孤立パターンに近いパターンを所望の線幅で転写することができなくなる。逆に、孤立パターンに近いパターンを所望の線幅で転写できるように照明条件を設定すると、例えばライン部の幅寸法とスペース部の幅寸法とが互いにほぼ等しいパターンを所望の線幅で転写することができなくなる。

40

【 0 0 5 1 】

50

本実施形態の照明光学系（１～１２）では、回折光学素子３および偏光変換ユニット５の作用により、マイクロフライアイレンズ８の後側焦点面またはその近傍の照明瞳に（ひいては投影光学系ＰＬの瞳面に）、図６に示すように周方向偏光状態から部分的に崩れた性状を有する部分周方向偏光状態に設定された輪帯状の瞳強度分布２２を積極的に形成することができる。輪帯状の瞳強度分布２２では、内面反射タイプの露光装置においてオプティカルインテグレータよりも後側の照明瞳に形成される輪帯状の瞳強度分布と同様に、光軸ＡＸを挟んでＹ方向およびＸ方向に対向する４つの領域の光束（図６の光束Ｌ２１～Ｌ２４に対応）は周方向偏光状態であり、他の４つの領域の光束（図６の光束Ｌ２５～Ｌ２８に対応）は偏光度が０に近いほぼ非偏光状態である。

【００５２】

したがって、本実施形態の露光装置（１～ＷＳ）では、内面反射タイプの露光装置用に調整されたマスクを使用しても、照明光学系（１～１２）がマイクロフライアイレンズ８の後側焦点面またはその近傍の照明瞳に、周方向偏光状態から部分的に崩れた性状、すなわち内面反射タイプの露光装置における偏光状態と類似の性状を有する部分周方向偏光状態に設定された輪帯状の瞳強度分布２２を形成するので、パターンの特性にかかわらずウェハＷ上に所望の線幅で転写することができる。

【００５３】

本実施形態の露光装置（１～ＷＳ）において、マイクロフライアイレンズ８の後側焦点面またはその近傍の照明瞳に形成された輪帯状の瞳強度分布２２のうち、光軸ＡＸを挟んでＹ方向およびＸ方向に対向する４つの領域の光束（図６の光束Ｌ２１～Ｌ２４に対応）の偏光状態は、マイクロフライアイレンズ８よりも後側に配置された光学部材の影響をあまり受けることなく維持される。これに対し、輪帯状の瞳強度分布２２のうち、図６中光軸ＡＸを挟んで斜め方向に対向する４つの領域の光束（図６の光束Ｌ２５～Ｌ２８に対応）の偏光状態は、マイクロフライアイレンズ８よりも後側に配置された光学部材の悪影響を受けて変化し易い。この傾向は、内面反射型のオプティカルインテグレータを用いる場合においても同様である。

【００５４】

本実施形態では、偏光変換ユニット５中のプリズム組立体５３ａ～５３ｃの作用により、輪帯状の瞳強度分布２２において図６中光軸ＡＸを挟んで斜め方向に対向する４つの領域の光束（図６の光束Ｌ２５～Ｌ２８に対応）を積極的に非偏光化している。非偏光化された光束は、複数の光学部材を経ても偏光状態が変化しにくい。したがって、本実施形態の露光装置（１～ＷＳ）では、マイクロフライアイレンズ８の後側焦点面またはその近傍の照明瞳に形成された輪帯状の瞳強度分布２２とほぼ同じ偏光状態の瞳強度分布を投影光学系ＰＬの瞳位置に安定的に形成することができる。

【００５５】

一般に、周方向偏光状態の輪帯状の瞳強度分布に基づく周方向偏光輪帯照明では、最終的な被照射面としてのウェハに照射される光がｓ偏光を主成分とする偏光状態になる。ここで、ｓ偏光とは、入射面に対して垂直な方向に偏光方向を有する直線偏光（入射面に垂直な方向に電気ベクトルが振動している偏光）のことである。ただし、入射面とは、光が媒質の境界面（被照射面：ウェハの表面）に達したときに、その点での境界面の法線と光の入射方向とを含む面として定義される。その結果、周方向偏光輪帯照明では、投影光学系の光学性能（焦点深度など）の向上を図ることができ、ウェハ（感光性基板）上において高いコントラストのマスクパターン像を得ることができる。

【００５６】

なお、上述の実施形態では、偏光変換ユニット５において、一对の旋光素子５１ａおよび５１ｂが、入射光束のうち、Ｙ方向（第１方向）に対向した領域に断面を有する第１光束Ｌ１１および第４光束Ｌ１２をＸ方向に偏光した直線偏光状態（第１の偏光状態）の光束に変換する第１偏光変換部を構成している。また、一对の旋光素子５２ａおよび５２ｂは、入射光束のうち、Ｙ方向と直交するＸ方向（第２方向）に対向した領域に断面を有する第２光束Ｌ１３および第５光束Ｌ１４をＹ方向に偏光した直線偏光状態（第２の偏光状

10

20

30

40

50

態)の光束に変換する第2偏光変換部を構成している。しかしながら、これに限定されることなく、第1偏光変換部および第2偏光変換部のうちの少なくとも一方を、1/2波長板により構成することもできる。

【0057】

また、上述の実施形態では、偏光変換ユニット5において、各プリズム組立体53a~53cがデポラライザとして機能する一对の偏角プリズム53aa, 53ab; 53ba, 53bb; 53ca, 53cbにより構成されている。換言すれば、各プリズム組立体53a~53cは、複屈折性の結晶材料で形成された第1偏角プリズム53aa, 53ba, 53caと、複屈折性の結晶材料で形成された第2偏角プリズム53ab, 53bb, 53cbとを有し、第1偏角プリズム53aa, 53ba, 53caおよび第2偏角プリズム53ab, 53bb, 53cbは結晶光学軸が互いに45度をなすように位置決めされている。

10

【0058】

しかしながら、これに限定されることなく、複屈折性の結晶材料で形成されてデポラライザとして機能する偏角プリズムと、非複屈折性材料で形成されて偏角プリズムによる偏角作用を補正する補正偏角プリズムとによりプリズム組立体を形成し、偏角プリズムの結晶光学軸を入射光束の偏光方向に対して45度をなすように位置決めすることにより、各プリズム組立体53a~53cと同様の非偏光化作用を発揮するプリズム組立体を実現することができる。

【0059】

また、上述の実施形態では、デポラライザとして機能する偏角プリズムが水晶により形成されている。しかしながら、これに限定されることなく、たとえばフッ化マグネシウムや方解石のような複屈折性の結晶材料を用いて偏角プリズムを形成することもできる。このような偏角プリズムを用いたデポラライザ(少なくとも一方が複屈折材料の2つの偏角プリズムからなるハンル・デポラライザ(Hanle depolarizer)や、速軸が逆方向に向けられた複屈折材料の2つの偏角プリズムからなるコルニュ・デポラライザ(Cornu depolarizer))には限定されず、厚みの比が2:1の複屈折材料の2つの平行波長板から成るライオット・デポラライザ(Lyot depolarizer)などの複数の複屈折材料の平行平面板を組み合わせたデポラライザや、半波長板(1/4波長板)と半波長板を回転させる手段とを含むアクティブ・デポラライザを用いても良い。また、速軸が平面内でランダムな向きに向けられるように配置された多数の複屈折材料の結晶チップ(例えば1/4波長板)から製作されるデポラライザを用いても良い。

20

30

【0060】

上述のような複屈折性の結晶材料を用いる代わりに、非複屈折性の材料に外部応力を作作用させることによって得られた複屈折性材料や、光学部材の表面に形成された入射光の波長よりも細かい微細構造が有する光学的異方性(構造複屈折性)を利用した偏光解消作用を持つ微細構造素子などを用いることもできる。ここでは、米国特許第4,198,123号公報、米国特許第5,028,134号公報、米国特許第6,498,869号公報、米国特許第7,099,081号公報、米国特許出願公開第2007/0014504号公報の教示を参照として援用する。

40

【0061】

また、上述の実施形態では、旋光素子が水晶により形成されている。しかしながら、これに限定されることなく、旋光性を有する他の適当な光学材料を用いて旋光素子を形成することもできる。

【0062】

また、上述の実施形態では、アフォーカルレンズ4の光路中においてマイクロフライアイレンズ8の入射面と光学的に共役な位置の照明瞳またはその近傍に偏光変換ユニット5を配置している。しかしながら、これに限定されることなく、マイクロフライアイレンズ8の後側焦点面の照明瞳またはその近傍に偏光変換ユニット5を配置することもできる。また、マイクロフライアイレンズ8よりも後側の別の照明瞳またはその近傍、例えば結像

50

光学系 1 2 の前側レンズ群 1 2 a と後側レンズ群 1 2 b との間の照明瞳またはその近傍に、偏光変換ユニット 5 を配置することもできる。

【 0 0 6 3 】

また、この偏光変換ユニット 5 を照明光学系の照明光路に対して挿脱可能に設け、必要に応じて照明光路内に位置させる構成であっても良い。また、この偏光変換ユニット 5 は照明光学系の光軸または当該光軸に平行な軸廻りに回転可能であっても良い。

【 0 0 6 4 】

また、上述の実施形態では、偏光変換ユニット 5 が有する第 1 および第 2 偏光変換部と見なすことができる旋光素子 5 1 a , 5 1 b , 5 2 a , 5 2 b の形状を扇形状としているが、扇形状には限定されず、たとえば輪帯形状や台形状であっても良い。

10

【 0 0 6 5 】

また、上述の実施形態では、偏光変換ユニット 5 が有する第 3 偏光変換部と見なすことができるプリズム組立体 5 3 a , 5 3 b , 5 3 c を、光軸方向（光入射（射出）方向）から見たときに全体として X 字状に配列しているが、この配列には限定されず、X 字状から光軸周辺部分を切り欠いた形状であっても良い。また、上述の実施形態では、第 1 光束 L 1 1、第 4 光束 L 1 2、第 2 光束 L 1 3 および第 5 光束 L 1 4 の間の全てに偏光解消素子としてのプリズム組立体 5 3 a , 5 3 b , 5 3 c を設けているが、少なくとも第 1 光束 L 1 1 と第 2 光束 L 1 3 との間に断面を持つ第 3 光束 L 1 5 の位置に偏光解消素子としてプリズム組立体が配置されていれば良い。また、第 3 偏光変換部と見なすことができるプリズム組立体を、光軸方向（光入射（射出）方向）から見たときに全体として \* 字状や、米字状に配列しても良い。すなわち、第 3 偏光変換部を構成するプリズム組立体の配列本数は 2 本には限定されない。

20

【 0 0 6 6 】

以上のように、偏光変換ユニットの具体的な構成については様々な形態が可能である。一般に、本発明の偏光変換ユニットは、入射光束のうち、第 1 光束を第 1 の偏光状態の光束に変換する第 1 偏光変換部と、入射光束のうち、第 1 光束とは異なる第 2 光束を第 2 の偏光状態の光束に変換する第 2 偏光変換部と、入射光束のうち、第 1 光束と第 2 光束との間に断面を有する第 3 光束を、第 1 の偏光状態および第 2 の偏光状態よりも偏光度の低い第 3 の偏光状態の光束に変換する第 3 偏光変換部とを備えていることが重要である。

【 0 0 6 7 】

また、上述の実施形態では、偏光変換ユニット 5 に入射する入射光束として、輪帯状の断面を有する光束を用いているが、これに限定されずに、輪帯状の領域内に分布する 1 つまたは複数の光束を入射光束として用いることができる。このとき、照明光学系の光軸に垂直な面内に上記輪帯状の領域を設定することができる。また、上記光軸またはこの光軸と平行な軸線を上記輪帯状の領域の中心に設定することができる。このような輪帯状の領域内に分布する 1 つまたは複数の光束としては、たとえば輪帯状の光束、4 極状の光束や 8 極状の光束などの複数極状の光束を用いることができる。

30

【 0 0 6 8 】

4 極状の光束を用いる場合には、これらの 4 つの光束を第 3 光束、第 6 光束、第 7 光束および第 8 光束と見なすことができる。図 7 ( a ) はこれら 4 つの光束によって形成される 4 極状の瞳強度分布 3 2 を示している。この 4 極状の瞳強度分布 3 2 において、第 3 光束 L 3 5、第 6 光束 L 3 6、第 7 光束 L 3 7、および第 8 光束 L 3 8 は、光軸 A X を中心とする輪帯状の領域内に位置している。ここで、第 3 光束 L 3 5 は偏光変換ユニット 5 のプリズム組立体 5 3 b を経た光束に対応しており、第 6 光束 L 3 6 および第 7 光束 L 3 7 はプリズム組立体 5 3 a を経た光束に対応しており、第 8 光束 L 3 8 はプリズム組立体 5 3 c を経た光束に対応しており、これらの光束 L 3 5 ~ L 3 8 は実質的に非偏光状態である。

40

【 0 0 6 9 】

また、8 極状の光束を用いる場合には、これらの 8 つの光束を第 1 乃至第 8 光束と見なすことができる。図 7 ( b ) はこれら 8 つの光束によって形成される 8 極状の瞳強度分布

50

4 2 を示している。この 8 極状の瞳強度分布 4 2 において、第 1 光束 L 4 1 ~ 第 8 光束 L 4 8 は、光軸 A X を中心とする輪帯状の領域内に位置している。この 8 極状の瞳強度分布 4 2 において、光軸 A X を挟んで Y 方向に対向する一対の楕円状の断面を有する第 1 光束 L 4 1 および第 4 光束 L 4 2 は、偏光変換ユニット 5 の一対の旋光素子 5 1 a , 5 1 b を経た光束に対応しており、X 方向に偏光した直線偏光状態である。

【 0 0 7 0 】

光軸 A X を挟んで X 方向に対向する一対の楕円状の断面を有する第 2 光束 L 4 3 および第 5 光束 L 4 4 は、偏光変換ユニット 5 の一対の旋光素子 5 2 a , 5 2 b を経た光束に対応しており、Y 方向に偏光した直線偏光状態である。第 1 光束 L 4 1 と第 2 光束 L 4 3 との間の第 3 光束 L 4 5、第 1 光束 L 4 1 と第 5 光束 L 4 4 との間の第 6 光束 L 4 6、第 4 光束 L 4 2 と第 2 光束 L 4 3 との間の第 7 光束 L 4 7、および第 4 光束 L 4 2 と第 5 光束 L 4 4 との間の第 8 光束 L 4 8 は、偏光変換ユニット 5 のプリズム組立体 5 3 a , 5 3 b , 5 3 c を経た光束に対応しており、実質的に非偏光状態である。

10

【 0 0 7 1 】

このように複数極状の光束を用いる場合、それぞれの光束の断面形状は、円弧形状であっても良いし円形状であっても良い。このような 1 つまたは複数の光束は、上述の回折光学素子によって生成することができる。

【 0 0 7 2 】

また、上述の実施形態において、内面反射型のオプティカルインテグレータに起因して、輪帯状の瞳強度分布において矩形状の断面の縦方向に間隔を隔てて対向する一対の領域（たとえば図 6 の光束 L 2 1 , L 2 2 に対応）の偏光状態および矩形状の断面の横方向に間隔を隔てて対向する一対の領域（たとえば図 6 の光束 L 2 3 , L 2 4 に対応）の偏光状態の偏光度も低下してしまうような場合には、上述の偏光状態切換部 2 を制御して瞳強度分布における上記 2 組の一対の領域の偏光度を低下させても良い。

20

【 0 0 7 3 】

また、上述の実施形態では、オプティカルインテグレータとして、マイクロフライアイレンズ 8 を用いているが、その代わりに、内面反射型のオプティカルインテグレータ（典型的にはロッド型インテグレータ）を用いても良い。この場合、ズームレンズ 7 の後側にその前側焦点位置がズームレンズ 7 の後側焦点位置と一致するように集光レンズを配置し、この集光レンズの後側焦点位置またはその近傍に入射端が位置決めされるようにロッド型インテグレータを配置する。このとき、ロッド型インテグレータの射出端が照明視野絞り 1 1 の位置になる。ロッド型インテグレータを用いる場合、このロッド型インテグレータの下流の視野絞り結像光学系 1 2 内の、投影光学系 P L の開口絞りの位置と光学的に共役な位置を照明瞳面と呼ぶことができる。また、ロッド型インテグレータの入射面の位置には、照明瞳面の二次光源の虚像が形成されることになるため、この位置およびこの位置と光学的に共役な位置も照明瞳面と呼ぶことができる。

30

【 0 0 7 4 】

上述の実施形態の露光装置は、本願特許請求の範囲に挙げられた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、電気的精度、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気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っても良い。

40

【 0 0 7 5 】

次に、上述の実施形態にかかる露光装置を用いたデバイス製造方法について説明する。

50

図 8 は、半導体デバイスの製造工程を示すフローチャートである。図 8 に示すように、半導体デバイスの製造工程では、半導体デバイスの基板となるウェハ W に金属膜を蒸着し（ステップ S 4 0）、この蒸着した金属膜上に感光性材料であるフォトレジストを塗布する（ステップ S 4 2）。つづいて、上述の実施形態の露光装置を用い、マスク（レチクル）M に形成されたパターンをウェハ W 上の各ショット領域に転写し（ステップ S 4 4：露光工程）、この転写が終了したウェハ W の現像、つまりパターンが転写されたフォトレジストの現像を行う（ステップ S 4 6：現像工程）。その後、ステップ S 4 6 によってウェハ W の表面に生成されたレジストパターンをマスクとし、ウェハ W の表面に対してエッチング等の加工を行う（ステップ S 4 8：加工工程）。

【 0 0 7 6 】

ここで、レジストパターンとは、上述の実施形態の露光装置によって転写されたパターンに対応する形状の凹凸が生成されたフォトレジスト層であって、その凹部がフォトレジスト層を貫通しているものである。ステップ S 4 8 では、このレジストパターンを介してウェハ W の表面の加工を行う。ステップ S 4 8 で行われる加工には、例えばウェハ W の表面のエッチングまたは金属膜等の成膜の少なくとも一方が含まれる。なお、ステップ S 4 4 では、上述の実施形態の露光装置は、フォトレジストが塗布されたウェハ W を、感光性基板つまりプレート P としてパターンの転写を行う。

【 0 0 7 7 】

図 9 は、液晶表示素子等の液晶デバイスの製造工程を示すフローチャートである。図 9 に示すように、液晶デバイスの製造工程では、パターン形成工程（ステップ S 5 0）、カラーフィルター形成工程（ステップ S 5 2）、セル組立工程（ステップ S 5 4）およびモジュール組立工程（ステップ S 5 6）を順次行う。

【 0 0 7 8 】

ステップ S 5 0 のパターン形成工程では、プレート P としてフォトレジストが塗布されたガラス基板上に、上述の実施形態の露光装置を用いて回路パターンおよび電極パターン等の所定のパターンを形成する。このパターン形成工程には、上述の実施形態の露光装置を用いてフォトレジスト層にパターンを転写する露光工程と、パターンが転写されたプレート P の現像、つまりガラス基板上のフォトレジスト層の現像を行い、パターンに対応する形状のフォトレジスト層を生成する現像工程と、この現像されたフォトレジスト層を介してガラス基板の表面を加工する加工工程とが含まれている。

【 0 0 7 9 】

ステップ S 5 2 のカラーフィルター形成工程では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応する 3 つのドットの組をマトリックス状に多数配列するか、または R、G、B の 3 本のストライプのフィルターの組を水平走査方向に複数配列したカラーフィルターを形成する。

【 0 0 8 0 】

ステップ S 5 4 のセル組立工程では、ステップ S 5 0 によって所定パターンが形成されたガラス基板と、ステップ S 5 2 によって形成されたカラーフィルターとを用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。具体的には、例えばガラス基板とカラーフィルターとの間に液晶を注入することで液晶パネルを形成する。ステップ S 5 6 のモジュール組立工程では、ステップ S 5 4 によって組み立てられた液晶パネルに対し、この液晶パネルの表示動作を行わせる電気回路およびバックライト等の各種部品を取り付ける。

【 0 0 8 1 】

また、本発明は、半導体デバイス製造用の露光装置への適用に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに形成される液晶表示素子、若しくはプラズマディスプレイ等のディスプレイ装置用の露光装置や、撮像素子（CCD 等）、マイクロマシーン、薄膜磁気ヘッド、及び DNA チップ等の各種デバイスを製造するための露光装置にも広く適用できる。更に、本発明は、各種デバイスのマスクパターンが形成されたマスク（フォトマスク、レチクル等）をフォトリソグラフィ工程を用いて製造する際の、露光工程（露光装置）にも適用することができる。

10

20

30

40

50

## 【0082】

なお、上述の実施形態では、露光光としてArFエキシマレーザ光（波長：193nm）やKrFエキシマレーザ光（波長：248nm）を用いているが、これに限定されることなく、他の適当なレーザ光源、たとえば波長157nmのレーザ光を供給するF<sub>2</sub>レーザ光源などに対して本発明を適用することもできる。

## 【0083】

また、上述の実施形態において、投影光学系と感光性基板との間の光路中を1.1よりも大きな屈折率を有する媒体（典型的には液体）で満たす手法、所謂液浸法を適用しても良い。この場合、投影光学系と感光性基板との間の光路中に液体を満たす手法としては、国際公開第W099/49504号パンフレットに開示されているような局所的に液体を満たす手法や、特開平6-124873号公報に開示されているような露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる手法や、特開平10-303114号公報に開示されているようなステージ上に所定深さの液体槽を形成し、その中に基板を保持する手法などを採用することができる。ここでは、国際公開第W099/49504号パンフレット、特開平6-124873号公報および特開平10-303114号公報の教示を参照として援用する。

10

## 【0084】

また、上述の実施形態において、回折光学素子3に代えて、或いは加えて、たとえばアレイ状に配列され且つ傾斜角および傾斜方向が個別に駆動制御される多数の微小な要素ミラーにより構成されて入射光束を反射面毎の微小単位に分割して偏向させることにより、光束の断面を所望の形状または所望の大きさに変換する空間光変調素子を用いても良い。このような空間光変調素子を用いた照明光学系は、例えば特開2002-353105号公報に開示されている。

20

## 【0085】

上述の実施形態では、マスクの代わりに、所定の電子データに基づいて所定パターンを形成する可変パターン形成装置を用いることができる。なお、可変パターン形成装置としては、たとえば所定の電子データに基づいて駆動される複数の反射素子を含む空間光変調素子を用いることができる。空間光変調素子を用いた露光装置は、たとえば特開2004-304135号公報、国際特許公開第2006/080285号パンフレットおよびこれに対応する米国特許公開第2007/0296936号公報に開示されている。また、上述のような非発光型の反射型空間光変調器以外に、透過型空間光変調器を用いても良く、自発光型の画像表示素子を用いても良い。

30

## 【0086】

また、上述の実施形態では、露光装置においてマスク（またはウェハ）を照明する照明光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、マスク（またはウェハ）以外の被照射面を照明する一般的な照明光学系に対して本発明を適用することもできる。

## 【符号の説明】

## 【0087】

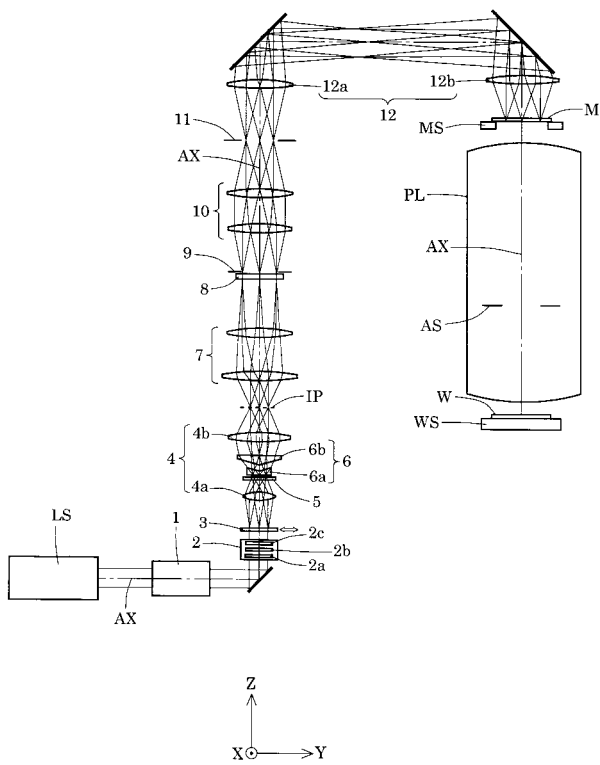
- 2 偏光状態切換部
- 3 回折光学素子
- 4 アフォーカルレンズ
- 5 偏光変換ユニット
- 50 基盤
- 51 a, 51 b, 52 a, 52 b 旋光素子
- 53 a, 53 b, 53 c プリズム組立体
- 53 a a, 53 a b, 53 b a, 53 b b, 53 c a, 53 c b 偏角プリズム
- 6 円錐アキシコン系
- 7 ズームレンズ
- 8 マイクロフライアイレンズ（オプティカルインテグレータ）

40

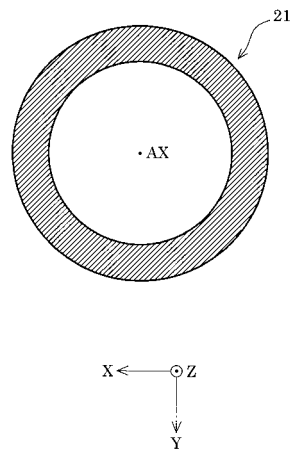
50

- 10 コンデンサー光学系
- 11 マスクブラインド
- 12 結像光学系
- LS 光源
- M マスク
- MS マスクステージ
- PL 投影光学系
- W ウェハ
- WS ウェハステージ

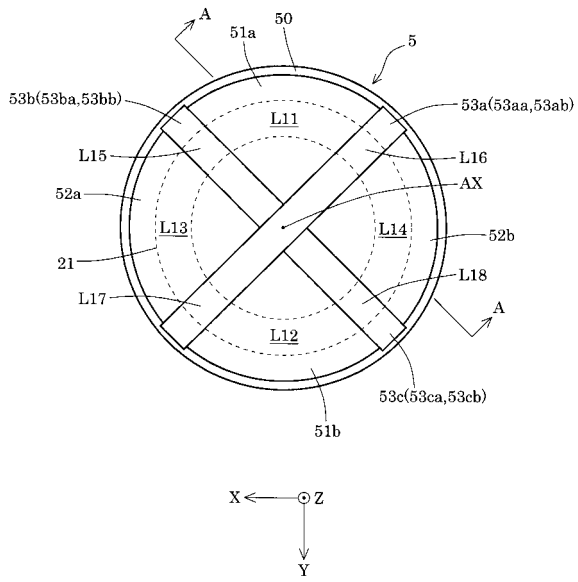
【図1】



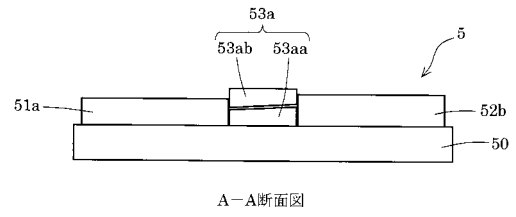
【図2】



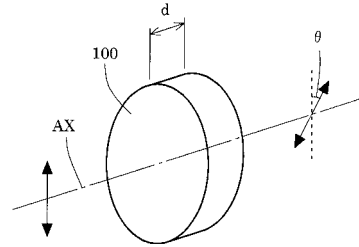
【 図 3 】



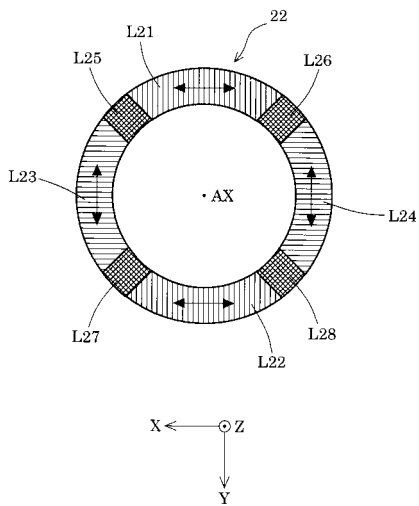
【 図 4 】



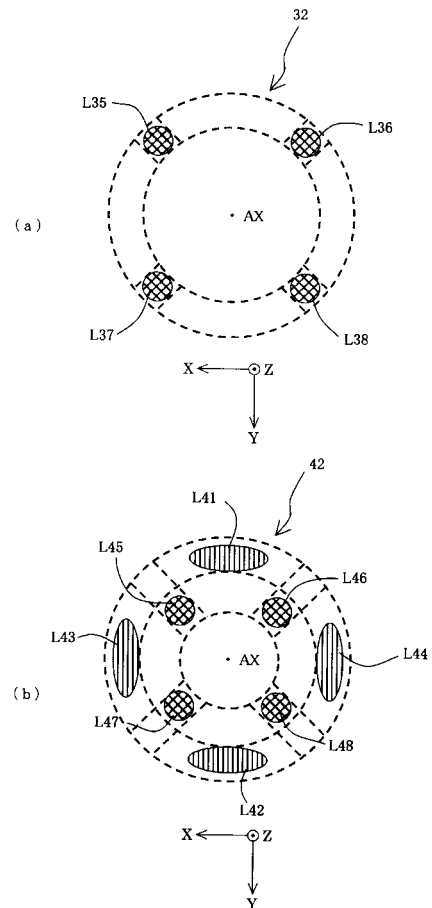
【 図 5 】



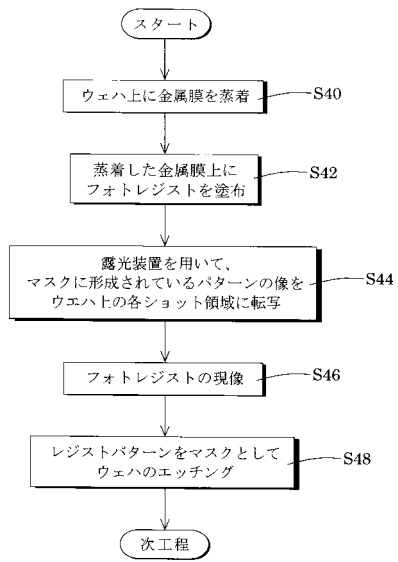
【 図 6 】



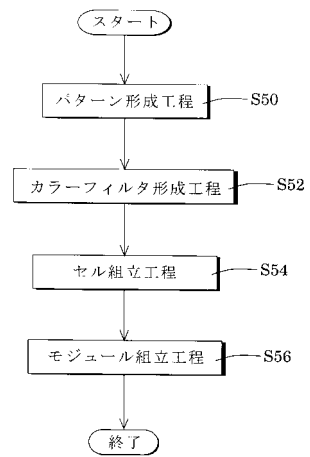
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 2H149 AA21 AB01 DA01 DA03 DA06 DA12 DB38 FA43Y  
5F046 BA03 CB05 CB08 CB15 CB23 DA01 DA02 DB01