

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6712508号
(P6712508)

(45) 発行日 令和2年6月24日(2020.6.24)

(24) 登録日 令和2年6月3日(2020.6.3)

(51) Int.Cl. F I
G03F 7/20 (2006.01) G O 3 F 7/20 5 O 1
G02B 21/06 (2006.01) G O 2 B 21/06

請求項の数 10 (全 17 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-127613 (P2016-127613) (22) 出願日 平成28年6月28日 (2016.6.28) (65) 公開番号 特開2018-4742 (P2018-4742A) (43) 公開日 平成30年1月11日 (2018.1.11) 審査請求日 平成31年3月22日 (2019.3.22)</p>	<p>(73) 特許権者 500171707 株式会社ブイ・テクノロジー 神奈川県横浜市保土ヶ谷区神戸町134番地 (74) 代理人 110002000 特許業務法人栄光特許事務所 (72) 発明者 川島 洋徳 神奈川県横浜市保土ヶ谷区神戸町134番地 株式会社ブイ・テクノロジー内 審査官 山口 敦司</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照度調整フィルタの製造方法、照度調整フィルタ、照明光学系、及び露光装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源からの光が、 p 行、 q 列 (p, q は、整数)のマトリックス状に配列された複数のレンズ素子を有するフライアイレンズと、前記フライアイレンズから出射する前記光を反射する反射鏡と、を有する光路を介して照射される露光面上における照度分布を均一化するため、前記光路内に配置され、前記複数のレンズ素子のそれぞれに対応する p 行、 q 列の照度調整部を備える照度調整フィルタの製造方法であって、

前記光路内に、前記照度調整フィルタを配置しない状態で、前記露光面上における任意の点 i (i は、整数)の照度 $I(i)$ を測定する工程と、

前記露光面上において測定された前記各点の照度 $I(i)$ に基づいて、前記各照度調整部の光透過率分布を算出する工程と、

該算出された光透過率分布に対応するパターンをそれぞれ備えた前記照度調整部を含む前記照度調整フィルタを形成する工程と、

を備え、

前記露光面の露光エリアの中心と、前記各レンズ素子から照射される各照射エリアの中心とのズレ量に応じて、前記照度調整フィルタの前記各照度調整部のパターンは、その中心を、前記各照度調整部の中心に対してオフセットさせて形成されることを特徴とする照度調整フィルタの製造方法。

【請求項2】

前記算出工程は、

10

20

前記露光面上において測定された各点の照度 $I(i)$ の最低照度 I_{min} を求める工程と、

前記露光面上の各測定点に対応する前記照度調整部上の各点の光透過率を、 $1 - (I(i) - I_{min}) / I(i)$ とする工程と、
を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の照度調整フィルタの製造方法。

【請求項 3】

前記算出工程は、

前記露光面上において測定された各点の照度 $I(i)$ の平均値 I_{ave} を算出する工程と、

前記露光面上の各測定点に対応する前記照度調整部上の各点の光透過率を、 $1 - (I(i) - I_{ave}) / I(i)$ とする工程と、
を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の照度調整フィルタの製造方法。

【請求項 4】

前記照度調整フィルタは、

p 行、 q 列のマトリックス状に配列された前記照度調整部である複数のセルを備え、光源と前記フライアイレンズとの間に配置される光学フィルタであることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の照度調整フィルタの製造方法。

【請求項 5】

前記パターンは、光学フィルタの基板にクロムを蒸着することで与えられることを特徴とする請求項 4 に記載の照度調整フィルタの製造方法。

【請求項 6】

前記照度調整フィルタは、

それぞれ互いに平行に配置された複数本の線材から構成される 2 組のワイヤ群を備え、前記 2 組のワイヤ群の前記線材は、互いに直交して、前記フライアイレンズのマトリックスに沿ってそれぞれ配設されてなり、

前記各ワイヤ群の前記線材は、それぞれ前記光の光軸及び前記線材の長手方向に対して直交する方向に移動可能なワイヤフィルタであることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の照度調整フィルタの製造方法。

【請求項 7】

前記 p 、 q は、奇数であり、

前記照度調整部の各辺の長さを L_x 、 L_y 、前記照度調整部による前記露光面上における照射エリアの各辺の長さを D_x 、 D_y とし、且つ、

前記複数のレンズ素子のうち、中央に位置する前記レンズ素子を基準レンズとし、前記基準レンズから m 行、 n 列ズレて位置する前記他のレンズ素子に対応する前記照度調整部の前記パターンの中心は、前記各照度調整部の中心に対して、 $m \times L_x^2 / D_x$ 、 $n \times L_y^2 / D_y$ だけオフセットさせて形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の照度調整フィルタの製造方法。

【請求項 8】

光源からの光が、 p 行、 q 列 (p 、 q は、整数) のマトリックス状に配列された複数のレンズ素子を有するフライアイレンズと、前記フライアイレンズから出射する前記光を反射する反射鏡と、を有する光路を介して照射される露光面上における照度分布を均一化するため、前記光路内に配置され、前記複数のレンズ素子のそれぞれに対応する p 行、 q 列の照度調整部を備える照度調整フィルタであって、

前記照度調整部は、前記光路内に、前記照度調整フィルタを配置しない状態での前記露光面上における任意の点 i (i は、整数) の照度 $I(i)$ に基づいた光透過率分布に対応するパターンをそれぞれ備え、

前記露光面の露光エリアの中心と、前記各レンズ素子から照射される各照射エリアの中心とのズレ量に応じて、前記照度調整フィルタの前記各照度調整部のパターンは、その中心を、前記各照度調整部の中心に対してオフセットさせて形成されていることを特徴とする照度調整フィルタ。

10

20

30

40

50

【請求項 9】

光源と、 p 行、 q 列 (p, q は、整数) のマトリックス状に配列された複数のレンズ素子を有するフライアイレンズと、前記フライアイレンズから出射する前記光を反射する反射鏡と、請求項 8 に記載の照度調整フィルタと、を備えることを特徴とする照明光学系。

【請求項 10】

マスクを支持するマスク支持部と、ワークを支持するワーク支持部と、請求項 9 に記載の照明光学系と、を備え、

前記照明光学系からの光を、露光パターンが形成された前記マスクを介して前記ワークに照射して、前記マスクの露光パターンを前記ワークに露光転写することを特徴とする露光装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、照度調整フィルタの製造方法、照度調整フィルタ、照明光学系、及び露光装置に関し、より詳細には、露光面での照度分布のばらつきを、照度調整フィルタにより抑制することができる照度調整フィルタの製造方法、照度調整フィルタ、照明光学系、及び露光装置に関する。

【背景技術】

【0002】

露光装置の照明光学系としては、光源、複数のレンズ素子がマトリックス状に配列されたフライアイレンズ、光路の向きを変える複数の反射鏡などを備えて、光源からの光を、フライアイレンズ、複数の反射鏡を介して、パターンが形成されたマスクに照射し、ワーク上にパターンを露光転写する。

20

【0003】

また、特許文献 1 に記載の露光装置では、光学系の経時的な劣化に対応するため、複数の液晶セルを具備した照度分布補正フィルタを備え、各液晶セルを制御して照度分布補正フィルタの光透過率分布を補正し、フライアイレンズの複数のレンズ素子に照射される光の照度分布を迅速に更新し、レチクルに照射される光の照度分布を均一にすることが開示されている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2006 - 210553 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、反射鏡の製作誤差など、照明光学系の構成要素に起因して、照度分布のばらつきが不可避免的に存在し、さらなる高精度での露光には、対策が要望されていた。特許文献 1 では、複数の液晶セルを制御することで照度分布補正フィルタの光透過率分布を補正しているが、液晶セルの制御には複雑な制御装置を要し、照度分布補正フィルタの製作コストが嵩む問題があった。

40

【0006】

本発明は、前述した課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、照明光学系の構成要素に起因する露光面での照度分布のばらつきを抑制して、照度分布を均一にすることができる照度調整フィルタの製造方法、照度調整フィルタ、照明光学系、及び露光装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の上記目的は、下記の構成により達成される。

(1) 光源からの光が、 p 行、 q 列 (p, q は、整数) のマトリックス状に配列された

50

複数のレンズ素子を有するフライアイレンズと、前記フライアイレンズから出射する前記光を反射する反射鏡と、を有する光路を介して照射される露光面上における照度分布を均一化するため、前記光路内に配置され、前記複数のレンズ素子のそれぞれに対応する p 行、 q 列の照度調整部を備える照度調整フィルタの製造方法であって、

前記光路内に、前記照度調整フィルタを配置しない状態で、前記露光面上における任意の点 i (i は、整数) の照度 $I(i)$ を測定する工程と、

前記露光面上において測定された前記各点の照度 $I(i)$ に基づいて、前記各照度調整部の光透過率分布を算出する工程と、

該算出された光透過率分布に対応するパターンをそれぞれ備えた前記照度調整部を含む前記照度調整フィルタを形成する工程と、

を備えることを特徴とする照度調整フィルタの製造方法。

10

(2) 前記算出工程は、

前記露光面上において測定された各点の照度 $I(i)$ の最低照度 I_{min} を求める工程と、

前記露光面上の各測定点に対応する前記照度調整部上の各点の光透過率を、 $1 - (I(i) - I_{min}) / I(i)$ とする工程と、

を備えることを特徴とする(1)に記載の照度調整フィルタの製造方法。

(3) 前記算出工程は、

前記露光面上において測定された各点の照度 $I(i)$ の平均値 I_{ave} を算出する工程と、

20

前記露光面上の各測定点に対応する前記照度調整部上の各点の光透過率を、 $1 - (I(i) - I_{ave}) / I(i)$ とする工程と、

を備えることを特徴とする(1)に記載の照度調整フィルタの製造方法。

(4) 前記照度調整フィルタは、

p 行、 q 列のマトリックス状に配列された前記照度調整部である複数のセルを備え、光源と前記フライアイレンズとの間に配置される光学フィルタであることを特徴とする(1)~(3)のいずれかに記載の照度調整フィルタの製造方法。

(5) 前記パターンは、光学フィルタの基板にクロムを蒸着することで与えられることを特徴とする(4)に記載の照度調整フィルタの製造方法。

(6) 前記照度調整フィルタは、

30

それぞれ互いに平行に配置された複数本の線材から構成される2組のワイヤ群を備え、前記2組のワイヤ群の前記線材は、互いに直交して、前記フライアイレンズのマトリックスに沿ってそれぞれ配設されてなり、

前記各ワイヤ群の前記線材は、それぞれ前記光の光軸及び前記線材の長手方向に対して直交する方向に移動可能なワイヤフィルタであることを特徴とする(1)~(3)のいずれかに記載の照度調整フィルタの製造方法。

(7) 前記露光面の露光エリアの中心と、前記各レンズ素子から照射される各照射エリアの中心とのズレ量に応じて、前記照度調整フィルタの前記各照度調整部のパターンは、その中心を、前記各照度調整部の中心に対してオフセットさせて形成されることを特徴とする(1)~(6)のいずれかに記載の照度調整フィルタの製造方法。

40

(8) 前記 p 、 q は、奇数であり、

前記照度調整部の各辺の長さを L_x 、 L_y 、前記照度調整部による前記露光面上における照射エリアの各辺の長さを D_x 、 D_y とし、且つ、

前記複数のレンズ素子のうち、中央に位置する前記レンズ素子を基準レンズとし、前記基準レンズから m 行、 n 列ズレて位置する前記他のレンズ素子に対応する前記照度調整部の前記パターンの中心は、前記各照度調整部の中心に対して、 $m \times L_x^2 / D_x$ 、 $n \times L_y^2 / D_y$ だけオフセットさせて形成されることを特徴とする(7)に記載の照度調整フィルタの製造方法。

(9) 光源からの光が、 p 行、 q 列 (p 、 q は、整数) のマトリックス状に配列された複数のレンズ素子を有するフライアイレンズと、前記フライアイレンズから出射する前記

50

光を反射する反射鏡と、を有する光路を介して照射される露光面における照度分布を均一化するため、前記光路内に配置され、前記複数のレンズ素子のそれぞれに対応する p 行、 q 列の照度調整部を備える照度調整フィルタであって、

前記照度調整部は、前記光路内に、前記照度調整フィルタを配置しない状態での前記露光面上における任意の点 i (i は、整数) の照度 $I(i)$ に基づいた光透過率分布に対応するパターンをそれぞれ備えることを特徴とする照度調整フィルタ。

(10) 光源と、 p 行、 q 列 (p, q は、整数) のマトリックス状に配列された複数のレンズ素子を有するフライアイレンズと、前記フライアイレンズから出射する前記光を反射する反射鏡と、(9)に記載の照度調整フィルタと、を備えることを特徴とする照明光学系。

(11) マスクを支持するマスク支持部と、ワークを支持するワーク支持部と、(10)に記載の照明光学系と、を備え、

前記照明光学系からの光を、露光パターンが形成された前記マスクを介して前記ワークに照射して、前記マスクの露光パターンを前記ワークに露光転写することを特徴とする露光装置。

【発明の効果】

【0008】

本発明の照度調整フィルタの製造方法によれば、光路内に照度調整フィルタを配置しない状態で露光面上における任意の点 i (i は、整数) の照度 $I(i)$ を測定し、測定された各点の照度 $I(i)$ に基づいて、各照度調整部の光透過率分布を算出した後、算出された光透過率分布に対応するパターンをそれぞれ備えた照度調整部を含む照度調整フィルタを形成するので、照明光学系の構成要素に起因する露光面での照度分布のばらつきを抑制して、露光面上での照度分布を均一にすることができる。

【0009】

また、本発明の照度調整フィルタによれば、前記照度調整部は、前記光路内に、前記照度調整フィルタを配置しない状態での前記露光面上における任意の点 i (i は、整数) の照度 $I(i)$ に基づいた光透過率分布に対応するパターンをそれぞれ備えるので、照明光学系の構成要素に起因する露光面での照度分布のばらつきを抑制して、露光面上での照度分布を均一にすることができる。

【0010】

さらに、本発明の照明光学系によれば、上述した照度調整フィルタを備えることで、露光面上での照度分布がより均一化されたユニットを提供することができる。

また、本発明の露光装置によれば、上述した照度調整フィルタを備えた照明光学系を用いることで、より高精度な露光結果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1実施形態に係る露光装置の正面図である。

【図2】図1に示す照明装置の構成を示す図である。

【図3】(a)は、光源部から出射した略均一な照度の光を光学フィルタにより補正してフライアイレンズの各レンズ素子に入射した場合の各レンズ素子から出射した光の露光面での照度を示す図であり、(b)は、露光面での全体照度のイメージを示す図である。

【図4】(a)は、照度補正前の露光面の照度分布を示す平面図、(b)は、露光面上の各点で測定された照度の表である。

【図5】図4に示す照度分布を補正するための光学フィルタの平面図である。

【図6】(a)は、図5に示す光学フィルタのセルの光透過率のパターンを示す平面図、(b)は、セルの各点における光透過率の表である。

【図7】(a)は、照度補正後の露光面の照度分布を示す平面図、(b)は、補正後の露光面の各点の照度の表である。

【図8】本発明の第2実施形態に係る、光学フィルタの各セルと、フライアイレンズの各レンズ素子及び露光面上の照射エリアの位置関係を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 9】本発明の第 3 実施形態に係る、フライアイレンズとワイヤフィルタを示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

(第 1 実施形態)

以下、本発明に係る露光装置の第 1 実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。図 1 に示すように、近接露光装置 P E は、被露光材としてのワーク W より小さいマスク M を用い、マスク M をマスクステージ (マスク支持部) 1 で保持すると共に、ワーク W をワークステージ (ワーク支持部) 2 で保持し、マスク M とワーク W とを近接させて所定の露光ギャップで対向配置した状態で、照明装置 3 からパターン露光用の光をマスク M に向けて照射することにより、マスク M のパターンをワーク W 上に露光転写する。また、ワークステージ 2 をマスク M に対して X 軸方向と Y 軸方向の二軸方向にステップ移動させて、ステップ毎に露光転写が行われる。

10

【0013】

ワークステージ 2 を X 軸方向にステップ移動させるため、装置ベース 4 上には、X 軸送り台 5 a を X 軸方向にステップ移動させる X 軸ステージ送り機構 5 が設置されている。X 軸ステージ送り機構 5 の X 軸送り台 5 a 上には、ワークステージ 2 を Y 軸方向にステップ移動させるため、Y 軸送り台 6 a を Y 軸方向にステップ移動させる Y 軸ステージ送り機構 6 が設置されている。Y 軸ステージ送り機構 6 の Y 軸送り台 6 a 上には、ワークステージ 2 が設置されている。ワークステージ 2 の上面には、ワーク W がワークチャック等で真空吸引された状態で保持される。また、ワークステージ 2 の側部には、マスク M の下面高さを測定するための基板側変位センサ 1 5 が配設されている。従って、基板側変位センサ 1 5 は、ワークステージ 2 と共に X、Y 軸方向に移動可能である。

20

【0014】

装置ベース 4 上には、複数 (図に示す実施形態では 4 本) の X 軸リニアガイドのガイドレール 5 1 が X 軸方向に配置され、それぞれのガイドレール 5 1 には、X 軸送り台 5 a の下面に固定されたスライダ 5 2 が跨架されている。これにより、X 軸送り台 5 a は、X 軸ステージ送り機構 5 の第 1 リニアモータ 2 0 で駆動され、ガイドレール 5 1 に沿って X 軸方向に往復移動可能である。また、X 軸送り台 5 a 上には、複数の Y 軸リニアガイドのガイドレール 5 3 が Y 軸方向に配置され、それぞれのガイドレール 5 3 には、Y 軸送り台 6 a の下面に固定されたスライダ 5 4 が跨架されている。これにより、Y 軸送り台 6 a は、Y 軸ステージ送り機構 6 の第 2 リニアモータ 2 1 で駆動され、ガイドレール 5 3 に沿って Y 軸方向に往復移動可能である。

30

【0015】

Y 軸ステージ送り機構 6 とワークステージ 2 の間には、ワークステージ 2 を上下方向に移動させるため、比較的 position決め分解能は粗いが移動ストローク及び移動速度が大きな上下粗動装置 7 と、上下粗動装置 7 と比べて高分解能での位置決めが可能でワークステージ 2 を上下に微動させてマスク M とワーク W との対向面間のギャップを所定量に微調整する上下微動装置 8 が設置されている。

【0016】

上下粗動装置 7 は後述の微動ステージ 6 b に設けられた適宜の駆動機構によりワークステージ 2 を微動ステージ 6 b に対して上下動させる。ワークステージ 2 の底面の 4 箇所固定されたステージ粗動軸 1 4 は、微動ステージ 6 b に固定された直動ベアリング 1 4 a に係合し、微動ステージ 6 b に対し上下方向に案内される。なお、上下粗動装置 7 は、分解能が低くても、繰り返し位置決め精度が高いことが望ましい。

40

【0017】

上下微動装置 8 は、Y 軸送り台 6 a に固定された固定台 9 と、固定台 9 にその内端側を斜め下方に傾斜させた状態で取り付けられたリニアガイドの案内レール 1 0 とを備えており、該案内レール 1 0 に跨架されたスライダ 1 1 を介して案内レール 1 0 に沿って往復移動するスライド体 1 2 にボールねじのナット (図示せず) が連結されると共に、スライド

50

体 1 2 の上端面は微動ステージ 6 b に固定されたフランジ 1 2 a に対して水平方向に摺動自在に接している。

【 0 0 1 8 】

そして、固定台 9 に取り付けられたモータ 1 7 によってボールねじのねじ軸を回転駆動させると、ナット、スライダ 1 1 及びスライド体 1 2 が一体となって案内レール 1 0 に沿って斜め方向に移動し、これにより、フランジ 1 2 a が上下微動する。

なお、上下微動装置 8 は、モータ 1 7 とボールねじによってスライド体 1 2 を駆動する代わりに、リニアモータによってスライド体 1 2 を駆動するようにしてもよい。

【 0 0 1 9 】

この上下微動装置 8 は、Z 軸送り台 6 a の Y 軸方向の一端側（図 1 の左端側）に 1 台、他端側に 2 台、合計 3 台設置されてそれぞれが独立に駆動制御されるようになっている。これにより、上下微動装置 8 は、ギャップセンサ 2 7 による複数箇所でのマスク M とワーク W とのギャップ量の計測結果に基づき、3 箇所のフランジ 1 2 a の高さを独立に微調整してワークステージ 2 の高さ及び傾きを微調整する。

なお、上下微動装置 8 によってワークステージ 2 の高さを十分に調整できる場合には、上下粗動装置 7 を省略してもよい。

【 0 0 2 0 】

また、Y 軸送り台 6 a 上には、ワークステージ 2 の Y 方向の位置を検出する Y 軸レーザ干渉計 1 8 に対向するパーミラー 1 9 と、ワークステージ 2 の X 軸方向の位置を検出する X 軸レーザ干渉計に対向するパーミラー（共に図示せず）とが設置されている。Y 軸レーザ干渉計 1 8 に対向するパーミラー 1 9 は、Y 軸送り台 6 a の一側で X 軸方向に沿って配置されており、X 軸レーザ干渉計に対向するパーミラーは、Y 軸送り台 6 a の一端側で Y 軸方向に沿って配置されている。

【 0 0 2 1 】

Y 軸レーザ干渉計 1 8 及び X 軸レーザ干渉計は、それぞれ常に対応するパーミラーに対向するように配置されて装置ベース 4 に支持されている。なお、Y 軸レーザ干渉計 1 8 は、X 軸方向に離間して 2 台設置されている。2 台の Y 軸レーザ干渉計 1 8 により、パーミラー 1 9 を介して Y 軸送り台 6 a、ひいてはワークステージ 2 の Y 軸方向の位置及びヨーイング誤差を検出する。また、X 軸レーザ干渉計により、対向するパーミラーを介して X 軸送り台 5 a、ひいてはワークステージ 2 の X 軸方向の位置を検出する。

【 0 0 2 2 】

マスクステージ 1 は、略長形状の枠体からなるマスク基枠 2 4 と、該マスク基枠 2 4 の中央部開口にギャップを介して挿入されて X, Y, 方向（X, Y 平面内）に移動可能に支持されたマスクフレーム 2 5 とを備えており、マスク基枠 2 4 は装置ベース 4 から突設された支柱 4 a によってワークステージ 2 の上方の定位置に保持されている。

【 0 0 2 3 】

マスクフレーム 2 5 の中央部開口の下面には、枠状のマスクホルダ 2 6 が設けられている。即ち、マスクフレーム 2 5 の下面には、図示しない真空式吸着装置に接続される複数のマスクホルダ吸着溝が設けられており、マスクホルダ 2 6 が複数のマスクホルダ吸着溝を介してマスクフレーム 2 5 に吸着保持される。

【 0 0 2 4 】

マスクホルダ 2 6 の下面には、マスク M のマスクパターンが描かれていない周縁部を吸着するための複数のマスク吸着溝（図示せず）が開設されており、マスク M は、マスク吸着溝を介して図示しない真空式吸着装置によりマスクホルダ 2 6 の下面に着脱自在に保持される。

【 0 0 2 5 】

図 2 に示すように、本実施形態の露光装置 P E の照明装置 3 は、紫外線照射用の光源である例えば高圧水銀ランプ 6 1、及びこの高圧水銀ランプ 6 1 から照射された光を集光するリフレクタ 6 2 をそれぞれ有する複数のランプユニット 6 0 と、光路 E L の向きを変えるための平面ミラー 6 3 と、平面ミラー 6 3 の下流側に配置され、複数のセル 9 1 を備え

10

20

30

40

50

る照度調整フィルタとしての光学フィルタ90と、照射光路を開閉制御する露光制御用シャッターユニット64と、露光制御用シャッターユニット64の下流側に配置され、p行、q列のマトリックス状に配列された複数のレンズ素子65aを備えるフライアイレンズ65と、フライアイレンズ65から出射された光路ELの向きを変えるための平面ミラー66と、高圧水銀ランプ61からの光を平行光として照射するコリメーションミラー67と、該平行光をマスクMに向けて照射する平面ミラー68と、を備える。

【0026】

照明装置3では、露光時に露光制御用シャッターユニット64が開制御されると、高圧水銀ランプ61から照射された光が、平面ミラー63で反射されて、光学フィルタ90を介してフライアイレンズ65の入射面に入射される。フライアイレンズ65は、入射した光を照射面においてできるだけ均一な照度分布とするために使用される。そして、フライアイレンズ65の出射面から発せられた光は、平面ミラー66、コリメーションミラー67、及び平面ミラー68によってその進行方向が変えられるとともに平行光に変換される。そして、この平行光は、マスクステージ1に保持されるマスクM、さらにはワークステージ2に保持されるワークWの表面に対して略垂直にパターン露光用の光として照射され、マスクMのパターンがワークW上に露光転写される。

10

【0027】

ここで、平面ミラー66、コリメーションミラー67、及び平面ミラー68などの照明光学系の構成要素のばらつきを完全にゼロにして製作することは困難であり、露光面上における照度には、照明装置3ごとに特有のばらつきが不可避免的に存在する。このため、本実施形態の光学フィルタ90は、この照度のばらつき(照度分布)を補正するために使用される。

20

【0028】

具体的に、光学フィルタ90の各セル(照度調整部)91は、フライアイレンズ65のレンズ素子65aと同様に、p行、q列(例えば、図3では、3行、3列)のマトリックス状に配列されている。各セル91の大きさは、各レンズ素子65aと略同じ大きさである。また、フライアイレンズ65のレンズ素子65aと光学フィルタ90のセル91とは、互いの行と列の方向がそれぞれ一致するように対向して配置されている。また、光学フィルタ90の各セル91には、同一の光透過率分布を有するパターン93が形成されている(図5参照)。

30

【0029】

そして、図3に示すように、各セル91のパターン93を通った光が、フライアイレンズ65の各レンズ素子65aを通過して重なり合うことで露光面での一部の照度分布が変化し、露光面上における照度の高い部分の照度を低下させて照度分布を改善することができる。

【0030】

なお、光学フィルタ90のセル91のピッチは、一定としているが、ランプユニット60からの光が平行光ではなく、わずかに集光しながら、あるいは拡散しながら光学フィルタ90を通過してフライアイレンズ65に入射するような場合は、平行光と光路との角度に合わせて、光学フィルタ90の各セル91のピッチをずらしてもよい。したがって、光学フィルタ90のセルのサイズは、各レンズ素子65aと略同じ大きさに限らず、ピッチに応じて変更可能である。

40

【0031】

以下、露光面上における照度を調節する各セル91のパターン93の設計手順について説明する。

【0032】

まず、光路EL内に光学フィルタ90を配置しない状態で、露光面上における任意の点*i*(*i*は、整数)の照度 $I(i)$ を測定する。そして、測定された各点の照度 $I(i)$ に基づいて、セル91の光透過率分布を算出する。さらに、算出された光透過率分布に対応するパターン93をそれぞれ備えたセル91を含む光学フィルタ90を形成する。

50

【 0 0 3 3 】

具体的には、露光面上における任意の点 i の照度 $I(i)$ を測定し、照度 $I(i)$ の最低照度 I_{min} を求める。次いで、露光面上の各測定点 i に対応するセル 9 1 上の各点の光透過率を、 $1 - (I(i) - I_{min}) / I(i)$ として光透過率分布を求める。これにより、最低照度 I_{min} より明るい部分に対応するセル 9 1 上の各点の光透過率が低下して、露光面上の各点の照度が最低照度 I_{min} に合わせられ、全体として照度の均一化が図られる。

【 0 0 3 4 】

光透過率分布は、光学フィルタ 9 0 の石英基板にクロムのドットパターンを蒸着するものや、蒸着多層膜により透過率が変化する濃度フィルタなどによって設けることができる。光透過率は、ドットパターンの大きさや密度を変えることで任意に設定することができる。なお、光学フィルタ 9 0 の材料は、石英基板が望ましいが、ソーダガラスであってもよい。

10

【 0 0 3 5 】

なお、フライアイレンズ 6 5 のマトリクス配置されたレンズ素子 6 5 a の数 (目の数) が多くなると平均化されて露光面での照度分布の変化も小さくなる。レンズ素子 6 5 a は、縦方向に 3 個以上、横方向に 3 個以上で並ぶように配置されるものから適宜設定されればよく、光学フィルタ 9 0 のセル 9 1 の数も、フライアイレンズ 6 5 のレンズ素子 6 5 a の数に応じて適宜設計される。

【 0 0 3 6 】

また、光学フィルタ 9 0 は、必要に応じて、不図示のノズルから冷却空気を吹き付けて光学フィルタ 9 0 を冷却することもできる。

20

【 0 0 3 7 】

その他、照明装置 3 では、高圧水銀ランプ 6 1 は、単一のランプであってもよく、或いは、LED によって構成されてもよい。また、光学フィルタ 9 0 と露光制御用シャッターユニット 6 4 の設置順は、逆であってもよい。さらに、フライアイレンズ 6 5 と露光面との間には、DUV カットフィルタ、偏光フィルタ、バンドパスフィルタが配置されてもよい。

【 0 0 3 8 】

次に、図 4 ~ 図 7 を参照して、7 行、7 列のフライアイレンズに対応して、7 行、7 列の光学フィルタ 9 0 を用いて照度分布を均一に補正したシミュレーション結果について説明する。

30

【 0 0 3 9 】

例えば、図 4 (a) は、平面ミラー 6 8 の製作誤差などの照明光学系の構成要素に起因して、露光面 (ワーク W 上) における露光光の最大照度が 44.0 mW/cm^2 、最小照度が 39.4 mW/cm^2 、平均照度が 42.1 mW/cm^2 、均一性が 5.52% となっており、略中央部の照度が低下した、ばらつきのある照度分布となっている。このような照度分布の補正は、図 5 及び図 6 に示すように、露光面上の照度が最低照度 I_{min} の部分に対応するセル 9 1 上の点の光透過率を 100% とし、最低照度 I_{min} より照度が高い、その他の部分の光透過率を、最低照度 I_{min} との照度差に比例して低下させたパターン 9 3 のセル 9 1 を有する光学フィルタ 9 0 により調整している。

40

【 0 0 4 0 】

これにより、調整後の露光面上における照度分布は、図 7 (a) に示すように、照度が高い部分の照度が低下し、最大照度が 39.6 mW/cm^2 、最小照度が 39.2 mW/cm^2 、平均照度が 39.4 mW/cm^2 となり、均一性が 0.52% に改善されて、全体として照度が略均一化されている。これにより、露光精度が向上する。

【 0 0 4 1 】

なお、必要に応じて、光学フィルタ 9 0 を光路 E L に沿って移動させることで、露光光の強度を調節可能である。具体的には、光学フィルタ 9 0 をフライアイレンズ 6 5 に接近させるほど、露光面上における照度が低下する。

50

【0042】

以上説明したように、本実施形態の光学フィルタの製造方法、及び光学フィルタ90によれば、光路EL内に光学フィルタ90を配置しない状態で露光面上における任意の点*i* (*i*は、整数)の照度 $I(i)$ を測定し、測定された各点の照度 $I(i)$ に基づいて、各セル91の光透過率分布を算出した後、算出された光透過率分布に対応するパターン93をそれぞれ備えたセル91を含む光学フィルタ90を形成する。このような光学フィルタ90を利用することで、照明光学系の構成要素に起因する露光面での照度分布のばらつきを抑制して、露光面上での照度分布を均一にすることができる。

【0043】

また、光透過率分布の算出は、測定された各点の照度 $I(i)$ の最低照度 I_{min} を求め、露光面上の各測定点に対応するセル91上の各点の光透過率を、 $1 - (I(i) - I_{min}) / I(i)$ とするので、最低照度 I_{min} より明るい部分の照度が、最低照度 I_{min} に合わせて抑制され、露光面上での照度分布を均一にすることができる。

10

【0044】

また、*p*行、*q*列のマトリックス状に配列された複数のセル91を備え、ランプユニット60とフライアイレンズ65との間に配置される光学フィルタ90は、照度調整フィルタとして、比較的安価に製作することができる。

【0045】

また、パターン93は、光学フィルタ90の基板にクロムを蒸着することで与えられるので、セル91の任意の点の光透過率を、任意の大きさに設定することができる。

20

【0046】

また、本実施形態の照明装置3によれば、ランプユニット60と、*p*行、*q*列 (*p*, *q*は、整数)のマトリックス状に配列された複数のレンズ素子65aを有するフライアイレンズ65と、フライアイレンズ65から出射する光を反射する平面ミラー66、コリメーションミラー67、及び平面ミラー68と、光学フィルタ90と、を備えるので、露光面上での照度分布がより均一化されたユニットを提供することができる。

【0047】

また、本実施形態の露光装置PEによれば、マスクステージ1で支持されるマスクMと、ワークステージ2で支持されるワークWと、上記照明装置30と、を備えることで、光学フィルタ90で照度が補正されたランプユニット60からの露光光を、マスクMを介してワークWに照射して露光パターンをワークWに露光転写するので、より高精度な露光結果が得られる。

30

【0048】

なお、上記実施形態の光学フィルタ90は、露光面上における最低照度 I_{min} に合わせて、パターン93を設計しているが、本実施形態の変形例として、測定された各点の照度 $I(i)$ の平均照度 I_{ave} を用いて、パターン93を設計してもよい。

【0049】

即ち、該変形例の光学フィルタ90の製造方法は、露光面上における各点の照度 $I(i)$ の平均値をベースに照度の調整を行う。具体的には、露光面上における各点の照度 $I(i)$ を測定し、測定された各点の照度 $I(i)$ の平均照度 I_{ave} を算出する。次いで、露光面上の各測定点に対応するセル91上の各点の光透過率を、 $1 - (I(i) - I_{ave}) / I(i)$ としている。但し、各点の光透過率の値が1を超える場合は、1とする。

40

【0050】

これにより、平均照度 I_{ave} より明るい部分に対応するセル91上の各点の光透過率が低下し、露光面上の各点の照度、厳密には、平均照度 I_{ave} より明るい部分の照度が、平均照度 I_{ave} に合わせられる。従って、第1実施形態の光学フィルタ90よりも全体として明るくなり、照度と照度分布均一化とのバランスを重視した調整となる。

【0051】

(第2実施形態)

次に、第2実施形態の光学フィルタ90aの製造方法について、図8を参照して説明す

50

る。

第2実施形態の光学フィルタ90aでは、セル91の中心 C_2 に対するパターン93の中心 C_1 が、セル91ごとにオフセット量を変えて形成されている。

図8に示すように、フライアイレンズ65の各レンズ素子65aから出射する光の露光面上における照射エリアの大きさは実質的に同じである。一方、各レンズ素子65aから出射する光の露光面上における照射エリアの位置は、レンズ素子65aの位置によって、それぞれ僅かに異なっている。

【0052】

具体的には、図8に示すように、マトリックス状に配列された複数（図に示す実施例では9個）のレンズ素子65aの内の、例えば、中央のレンズ素子A（65a）から出射する光は、露光面上に、図8に点線で示す照射エリアBを形成し、レンズ素子Aの中心Oを通る光は、照射エリアBの中心 O_1 に照射される。

10

【0053】

一方、中心のレンズ素子Aの、例えば、右上のレンズ素子Cから出射する光は、露光面上に照射エリアD（図8に一点鎖線で示す）を形成する。照射エリアDは、照射エリアBから右上方にオフセットしている。また、レンズ素子Cの中心Pを通る光は、照射エリアDの中心 P_1 に照射される。この中心 P_1 は、照射エリアBの中心 O_1 から右上方にだけオフセットしている。

【0054】

同様に、レンズ素子Aの周囲に位置する各レンズ素子65aから出射する光も、露光面上に照射エリアBからそれぞれ左右、上下方向にオフセットした照射エリアを形成し、各レンズ素子65aの中心を通る光は、中心 O_1 からそれぞれ左右、上下方向にオフセットした位置に照射される。このオフセット方向及びオフセット量は、各レンズ素子65aのレンズ素子Aに対する位置に従って決定される。

20

【0055】

このように、各レンズ素子65aにより露光面上に照射される照射エリアB、D、・・・は、互いにオフセットしており、ワークWの露光に使用される露光エリアとしては、全てのレンズ素子65aからの光が重なって照射される中央照射エリアE（図8に示す最小の矩形エリア）を用いている。図8中、フライアイレンズ65の一点鎖線で示した部分を通過する光が中央照射エリアEを照射している。

30

【0056】

このように、露光面上では、各レンズ素子65aによる各照射エリアB、D、・・・が互いにオフセットしているため、光学フィルタ90の各セル91に同一のパターン93が形成されている場合（図5に示す第1実施形態の光学フィルタ参照）、フライアイレンズ65の各レンズ素子65aから出射して露光面上に形成されるそれぞれのパターン93の照射パターンは、レンズ素子Aによる照射エリアBの照射パターンとは完全に重ならず、それぞれ上下、左右方向に僅かにオフセットした位置に形成される。

【0057】

この露光面上における各セル91の照射パターンのズレは、露光面の露光エリア（中央照射エリアE）の中心 O_1 と、各レンズ素子65aから照射される各照射エリアの中心（例えば、 P_1 ）とのオフセット量に応じて、各セル91におけるパターン93の中心 C_1 が、それぞれのセル91の中心 C_2 に対してオフセットするように形成することで調整することができる。

40

【0058】

具体的には、図8に示すように、光学フィルタ90aが、奇数行、奇数列の複数のセル91で形成される場合、セル91の各辺の長さを L_x 、 L_y 、セル91による露光面上における照射エリアの各辺の長さを D_x 、 D_y とし、且つ、中央に位置するレンズ素子65aを基準レンズAとし、基準レンズAからm行、n列ズレて位置する他のレンズ素子65aに対応するセル91のパターン93の中心 C_1 は、セル91の中心 C_2 に対して、 $m \times L_x^2 / D_x$ 、 $n \times L_y^2 / D_y$ だけオフセットさせて形成する。

50

【 0 0 5 9 】

即ち、基準レンズA以外のレンズ素子65aのパターン93は、それぞれ各セル91の中心 C_2 より基準レンズAの中心O方向に偏って形成される。これにより、各セル91のパターン93の露光面上における照射パターンが一致し、照度分布が均一化される。

【 0 0 6 0 】

以上説明したように、露光面の露光エリアの中心 O_1 と、各レンズ素子65aから照射される各照射エリアの中心(P_1)とのオフセット量に応じて、セル91のパターン93は、その中心 C_1 を、各セル91の中心 C_2 に対してオフセットさせて形成されるので、各パターン93によるそれぞれの照射パターンが一致し、照度分布の調整精度が向上する。

10

【 0 0 6 1 】

また、 p 、 q は奇数であり、セル91の各辺の長さを L_x 、 L_y 、セル91による照射エリアの各辺の長さを D_x 、 D_y とし、且つ、複数のレンズ素子65aのうち、中央に位置するレンズ素子65aを基準レンズAとし、基準レンズAから m 行、 n 列ズレて位置する他のレンズ素子65aに対応するセル91のパターン93の中心 C_1 は、セル91の中心 C_2 に対して、 $m \times L_x^2 / D_x$ 、 $n \times L_y^2 / D_y$ だけオフセットさせて形成されるので、奇数行、奇数列のセル91を有する光学フィルタ90aにおいても、各パターン93によるそれぞれの照射パターンが一致し、照度分布の調整精度が向上する。

【 0 0 6 2 】

(第3実施形態)

上記第1及び第2実施形態では、照度調整フィルタは、光学フィルタ90として説明したが、ワイヤフィルタ100で構成することもできる。図9に示すように、ワイヤフィルタ100は、複数本の線材102Xが互いに平行にX方向に配置されてなる第1のワイヤ群101Xと、複数本の線材102Yが互いに平行にY方向に配置されてなる第2のワイヤ群101Yと、から構成されている。第1のワイヤ群101Xの線材102Xと、第2のワイヤ群101Yの線材102Yは、互いに直交するように配置されて、 p 行、 q 列のマトリックス状に配列されたフライアイレンズ65の複数のレンズ素子65aに沿って配設されている。線材102X、102Yは、ワイヤや、細長く形成された板材などが適用可能であり、その断面形状は、円形、半円形、楕円形、三角形、四角形、その他多角形など、特に限定されない。

20

30

【 0 0 6 3 】

更に、第1のワイヤ群101Xの各線材102Xは、それぞれの線材102Xの端部(例えば、図9の左端)に設けられた、例えばバイメタルや piezo素子などの駆動機構103Xにより、それぞれ独立してY方向に移動可能となっている。また、第2のワイヤ群101Yの各線材102Yは、それぞれの線材102Yの端部(例えば、図9の上端)に設けられた、例えばバイメタルや piezo素子などの駆動機構103Yにより、それぞれ独立してX方向に移動可能となっている。

【 0 0 6 4 】

そして、ワイヤフィルタ100の2組のワイヤ群101X、101Yの線材102X、102Yを、それぞれ光軸EL及び線材102X、102Yの長手方向に対して直交する方向に移動させて、複数の線材102Xで構成されるパターン P_x 、及び複数の線材102Yで構成されるパターン P_y を変更することでワイヤフィルタ100の光透過率を変えて、露光面上における照度分布のばらつきを調整する。1つのパターン P_x と1つのパターン P_y とが重なる領域の大きさは、フライアイレンズ65のレンズ素子65aの大きさと略同じ大きさとなっている。

40

【 0 0 6 5 】

なお、ワイヤフィルタ100による調整においても、露光面上における照度の低い部分に合わせて明るい部分の照度をワイヤフィルタ100で低下させて、照度分布のばらつきを調整する方法は、光学フィルタ90と同様である。

【 0 0 6 6 】

50

以上説明したように、本実施形態の照度調整フィルタの製造方法によれば、照度調整フィルタは、それぞれ互いに平行に配置された複数本の線材102X、102Yから構成される2組のワイヤ群101X、101Yを備え、2組のワイヤ群101X、101Yの線材102X、102Yは、互いに直交して、フライアイレンズ65のマトリックスに沿ってそれぞれ配設されてなり、各線材102X、102Yは、それぞれ光軸EL及び線材102X、102Yの長手方向に対して直交する方向に移動可能なワイヤフィルタ100であるので、ワイヤフィルタ100の2組のワイヤ群101X、101Yの線材102X、102Yを、光路EL及び線材102X、102Yの長手方向に対して直交する方向に移動させることで、露光面における照度分布のばらつきを調整することができる。

また、ワイヤフィルタ100は、使用する照明装置3に応じて、パターンPx、Pyを調整することで、複数の照明装置3で使用することができる。

10

【0067】

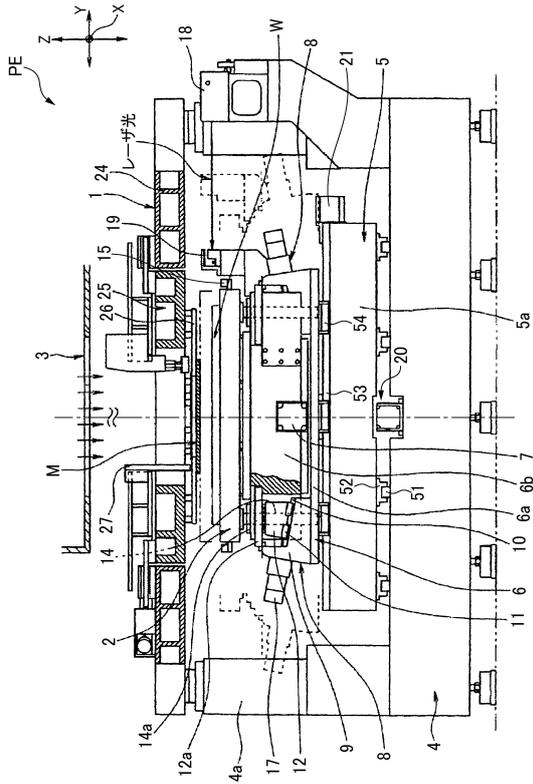
尚、本発明は、前述した各実施形態及び実施例に限定されるものではなく、適宜、変形、改良、等が可能である。

【符号の説明】

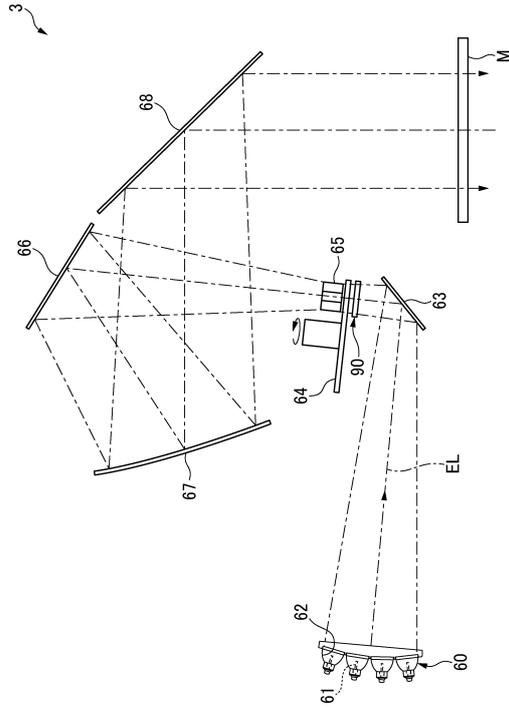
【0068】

1	マスクステージ(マスク支持部)	
2	ワークステージ(ワーク支持部)	
60	ランプユニット(光源)	
63	平面ミラー(反射鏡)	20
65	フライアイレンズ	
65a	レンズ素子	
66	平面ミラー(反射鏡)	
67	コリメーションミラー(反射鏡)	
68	平面ミラー(反射鏡)	
90	光学フィルタ(照度調整フィルタ)	
91	セル(照度調整部)	
93	パターン	
100	ワイヤフィルタ	
101X	第1のワイヤ群(ワイヤ群)	30
101Y	第2のワイヤ群(ワイヤ群)	
102X, 102Y	線材	
A	中心のレンズ素子(基準レンズ)	
Dx, Dy	照射エリアの各辺の長さ	
EL	光路、光軸	
I	照度	
i	露光面上における任意の点(測定点)	
Iave	平均照度(平均値)	
Imin	最低照度	
Lx, Ly	照度調整部の各辺の長さ	40
M	マスク	
O ₁	照射エリアBの中心(露光エリアの中心)	
P ₁	照射エリアDの中心	
PE	近接露光装置	
W	ワーク	
	オフセット量(ズレ量)	

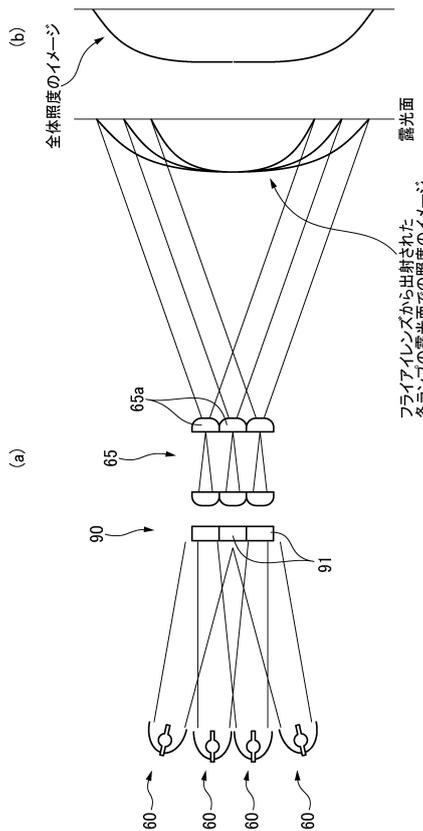
【図1】



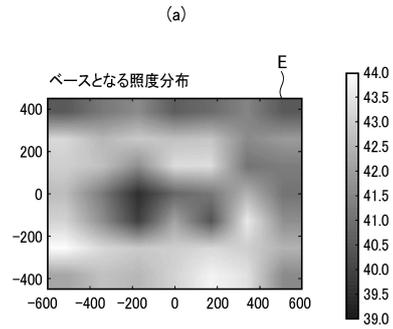
【図2】



【図3】



【図4】

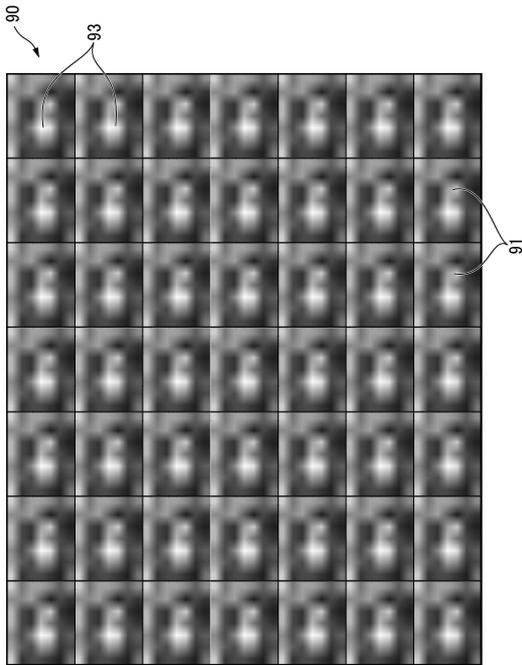


(b)

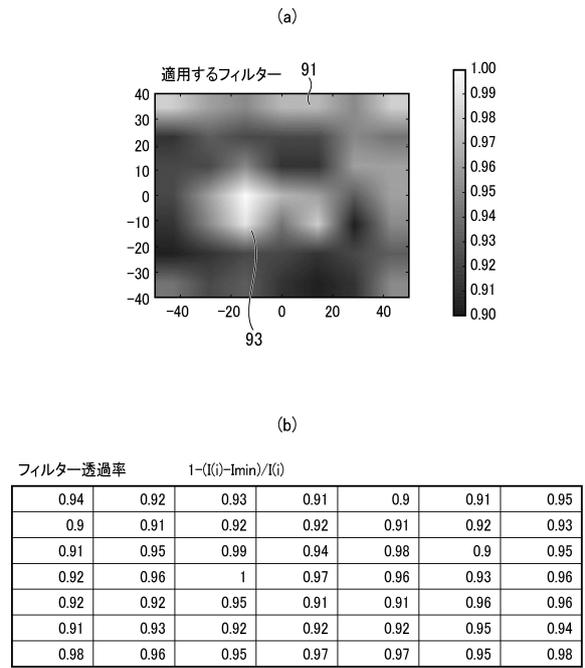
Baseとなる照度分布

42.1	42.7	42.5	43.1	43.8	43.4	41.5
44.0	43.2	42.9	43.0	43.2	43.0	42.4
43.1	41.6	39.8	42.1	40.3	43.6	41.6
42.6	41.2	39.4	40.7	41.1	42.4	41.0
43.0	42.7	41.6	43.3	43.3	41.0	41.2
43.2	42.5	42.9	42.7	42.8	41.5	41.9
40.4	41.1	41.5	40.5	40.8	41.4	40.4

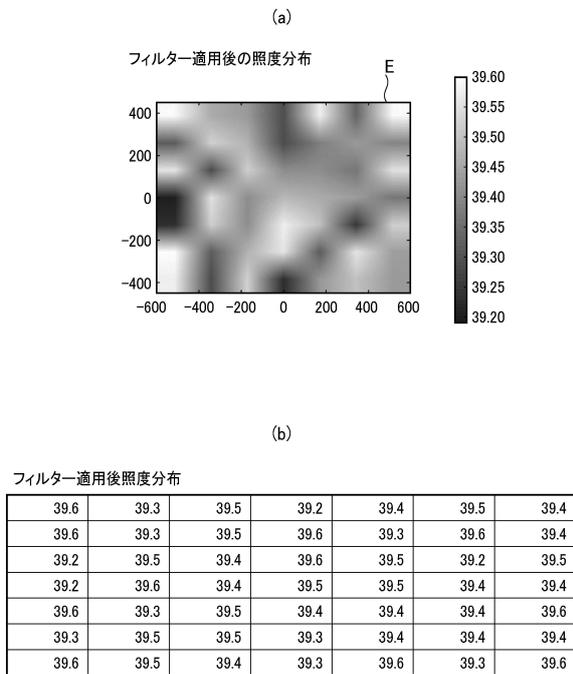
【図5】



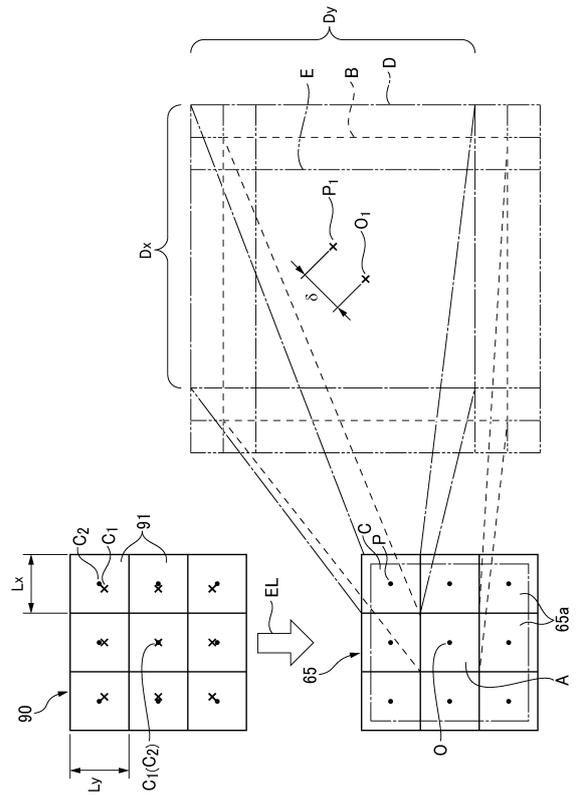
【図6】



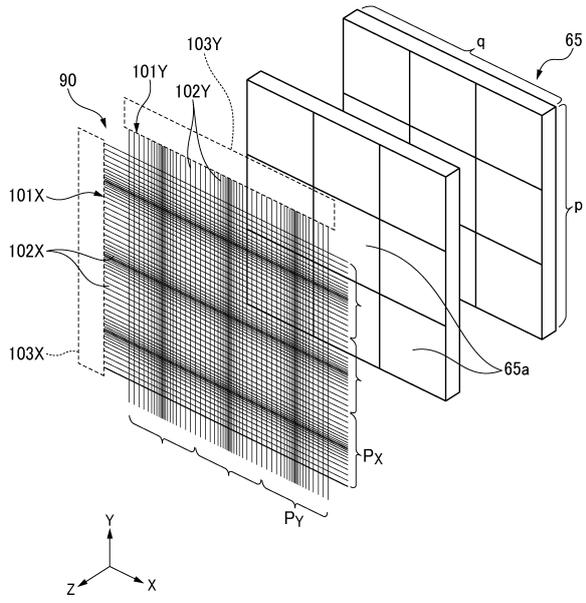
【図7】



【図8】



【 図 9 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2002-305137(JP,A)
特開2009-260337(JP,A)
特開2006-210553(JP,A)
特開2004-055856(JP,A)
特開2002-237442(JP,A)
特開2001-267205(JP,A)
特開平09-022869(JP,A)
特開平07-130600(JP,A)
特開平01-042821(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 7/20

G02B 21/06