

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7677004号
(P7677004)

(45)発行日 令和7年5月15日(2025.5.15)

(24)登録日 令和7年5月7日(2025.5.7)

(51)国際特許分類		F I	
G 0 3 F	7/20 (2006.01)	G 0 3 F	7/20 5 0 1
F 2 1 V	5/00 (2018.01)	F 2 1 V	5/00 3 0 0
F 2 1 V	5/02 (2006.01)	F 2 1 V	5/02
G 0 2 B	19/00 (2006.01)	G 0 2 B	19/00
F 2 1 Y	115/00 (2016.01)	F 2 1 Y	115:00

請求項の数 7 (全14頁)

(21)出願番号	特願2021-113402(P2021-113402)	(73)特許権者	000102212 ウシオ電機株式会社 東京都千代田区丸の内一丁目6番5号
(22)出願日	令和3年7月8日(2021.7.8)	(74)代理人	100109380 弁理士 小西 恵
(65)公開番号	特開2023-9810(P2023-9810A)	(74)代理人	100109036 弁理士 永岡 重幸
(43)公開日	令和5年1月20日(2023.1.20)	(72)発明者	大澤 理 東京都千代田区丸の内1丁目6番5号 ウシオ電機株式会社内
審査請求日	令和6年3月19日(2024.3.19)	(72)発明者	伊藤 公一 東京都千代田区丸の内1丁目6番5号 ウシオ電機株式会社内
		審査官	坂上 大貴

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 照明光学系および露光装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

各々が発光面から光を発する複数の発光素子が、当該発光面の広がる方向に互いに並んでいる光源と、

前記発光素子が発した光の配光分布を照度分布に変換すると共に、前記複数の発光素子に対応した複数の当該照度分布を重畳面上で互いに重ね合わせるリレー光学系と、

前記リレー光学系による照射光を波面分割して複数の光束として伝達する複数の波面分割要素が互いに並列的に配置されたオプティカルインテグレータと、

前記複数の光束を被照射面で重畳させるコンデンサ光学系と、
を備え、

前記リレー光学系が、

前記複数の発光素子に対応した複数の第1レンズ要素を有し、各第1レンズ要素が各発光素子からの光を集光する集光レンズ群と、

前記複数の第1レンズ要素に対応した複数の第2レンズ要素を有し、各発光素子からの光の配光分布に相当する照度分布の照射光が各第1レンズ要素により各第2レンズ要素の入射面に照射されるレンズアレイと、

前記レンズアレイの各第2レンズ要素の出射面と光学的に協働して、各第2レンズ要素の入射面に照射された各照射光を前記重畳面上に導いて互いに重ね合わせるリレーレンズと、

を備えたことを特徴とする照明光学系。

【請求項 2】

前記リレーレンズから前記オプティカルインテグレータの入射面までの距離は、当該リレーレンズから前記重畳面までの距離よりも短いことを特徴とする請求項 1 に記載の照明光学系。

【請求項 3】

前記レンズアレイは、前記複数の第 2 レンズ要素のそれぞれが、光軸に沿った方向に見て四角形の外形を有し、当該複数の第 2 レンズ要素が束ねられたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の照明光学系。

【請求項 4】

前記集光レンズ群は、前記複数の第 1 レンズ要素のそれぞれの出射側が、光軸に沿った方向に見て四角形の外形を有し、当該複数の第 1 レンズ要素が束ねられたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の照明光学系。

10

【請求項 5】

前記集光レンズ群は、前記複数の第 1 レンズ要素のそれぞれが、前記発光素子側に位置する前要素と前記レンズアレイ側に位置する後要素とを有し、当該前要素は光軸に沿った方向に見て丸い外形を有し、当該後要素は光軸に沿った方向に見て四角形の外形を有することを特徴とする請求項 4 に記載の照明光学系。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の照明光学系で前記被照射面に配置されたパターンを照射して、当該パターンを露光対象物に露光することを特徴とする露光装置。

20

【請求項 7】

前記照明光学系によって照射された前記パターンの像を前記露光対象物に投影する投影光学系を備えたことを特徴とする請求項 6 に記載の露光装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、照明光学系および露光装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体素子、フラットパネルディスプレイ、MEMS（マイクロエレクトロメカニカルシステム）などの製造工程で用いる露光装置および照明光学系が知られている。

30

【0003】

従来、露光装置の光源として、超高圧水銀ランプ、メタルハライドランプなどの高輝度の放電ランプが用いられていた。これに対し、近年のLED、LDなどの発光素子の技術の進歩に伴い、複数のLEDを露光装置の光源に用いる技術が提案されている。

【0004】

LEDは、露光用の光源としては1チップ当たりの放射光量が少ない。このため、被照射面において所要の高い照度を得るためには、複数のチップからの光を照明光学系で合成して被照射面に導くことが求められる。

【0005】

例えば特許文献1には、複数のLEDにおける各発光面の像が、フライアイレンズの入射側の面の有効領域を覆う大きさまで拡大され、拡大された像がフライアイレンズの入射側で互いに重なり合うように投影される照明光学系および露光装置が開示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特開2016-188878号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

50

しかし、特許文献 1 に記載の照明光学系および露光装置を実際に組み立てる(実際に使用してみる)と、発光素子から発せられた光のうち被照射面に達する光の割合(光の利用効率)が低い。このため、露光するパターンサイズに応じて露光解像度を高めるために開口絞りを狭めた場合には被照射面での照度が不足して、露光時間が長時間化することになる。

そこで、本発明は、複数の発光素子からの光を高い効率で利用することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を解決するために、本発明に係る照明光学系の一態様は、各々が発光面から光を発する複数の発光素子が、当該発光面の広がる方向に互いに並んでいる光源と、上記発光素子が発した光の配光分布を照度分布に変換すると共に、上記複数の発光素子に対応した複数の当該照度分布を重畳面上で互いに重ね合わせるリレー光学系と、上記リレー光学系による照射光を波面分割して複数の光束として伝達する複数の波面分割要素が互いに並列的に配置されたオプティカルインテグレータと、上記複数の光束を被照射面で重畳させるコンデンサ光学系と、を備える。

10

【0009】

上記照明光学系によれば、各発光素子からの光が重畳面上に丸い形状の照度分布となって互いに重ね合わされることになり、丸い形状の開口絞りを通った光がコンデンサ光学系へと導かれる効率が高く、光源から発せられる光の利用効率が高い。

【0010】

上記照明光学系において、上記リレー光学系が、上記複数の発光素子に対応した複数の第 1 レンズ要素を有し、各第 1 レンズ要素が各発光素子からの光を集光する集光レンズ群と、上記複数の第 1 レンズ要素に対応した複数の第 2 レンズ要素を有し、各発光素子からの光の配光分布に相当する照度分布の照射光が各第 1 レンズ要素により各第 2 レンズ要素の入射面に照射されるレンズアレイと、上記レンズアレイの各第 2 レンズ要素の出射面と光学的に協働して、各第 2 レンズ要素の入射面に照射された各照射光を上記重畳面上に導いて互いに重ね合わせるリレーレンズと、を備えることが好ましい。

20

集光レンズ群、レンズアレイ、およびリレーレンズによりリレー光学系の機能が分担され、リレー光学系が容易に実現される。

【0011】

上記照明光学系において、上記リレーレンズから上記オプティカルインテグレータの入射面までの距離は、当該リレーレンズから上記重畳面までの距離よりも短いことが好ましい。オプティカルインテグレータの入射面がこの距離に位置しても光の利用効率は殆ど変わらず開口絞りの面で周辺までフラットな照度分布になるためより微細なパターンの露光に適している。

30

【0012】

上記照明光学系において、上記レンズアレイは、上記複数の第 2 レンズ要素のそれぞれが、光軸に沿った方向に見て四角形の外形を有し、当該複数の第 2 レンズ要素が束ねられたことも好ましい。四角形の第 2 レンズ要素が用いられることで、丸い第 2 レンズ要素が用いられる場合に較べて光の利用効率が向上する。

【0013】

上記照明光学系において、上記集光レンズ群は、上記複数の第 1 レンズ要素のそれぞれの出射側が、光軸に沿った方向に見て四角形の外形を有し、当該複数の第 1 レンズ要素が束ねられたことも好ましい。出射側が四角形の第 1 レンズ要素が用いられることで、丸い第 1 レンズ要素が用いられる場合に較べて光の利用効率が向上する。

40

【0014】

出射側が四角形の第 1 レンズ要素が用いられる場合、上記集光レンズ群は、上記複数の第 1 レンズ要素のそれぞれが、上記発光素子側に位置する前要素と上記レンズアレイ側に位置する後要素とを有し、当該前要素は光軸に沿った方向に見て丸い外形を有し、当該後要素は光軸に沿った方向に見て四角形の外形を有することが更に好ましい。丸い外形の前要素と四角形の外形の後要素との組み合わせにより光の利用効率が更に向上する。

50

【 0 0 1 5 】

また、上記課題を解決するために、本発明に係る露光装置の一態様は、上記照明光学系で上記被照射面に配置されたパターンを照射して、当該パターンを露光対象物に露光する。上記露光装置によれば、効率の良い光照射によってパターン露光の露光時間の短縮化が図られる。

上記露光装置において、上記照明光学系によって照射された前記パターンの像を上記露光対象物に投影する投影光学系を備えてもよい。

【発明の効果】

【 0 0 1 6 】

本発明によれば、複数の発光素子からの光を高い効率で利用することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 7 】

【図 1】本発明の照明光学系の一実施形態を示す図である。

【図 2】本発明の露光装置の一実施形態を示す図である。

【図 3】発光素子と集光レンズとレンズ要素との位置関係を示す図である

【図 4】組み合わせレンズの集光レンズを示す図である。

【図 5】発光素子の配光特性を示す図である。

【図 6】比較例の照明光学系におけるオプティカルインテグレータの入射面における照度分布を示す図である。

【図 7】比較例の照明光学系における開口絞りの位置における照度分布を示す図である。

20

【図 8】図 1 に示す照明光学系におけるオプティカルインテグレータの入射面における照度分布を示す図である。

【図 9】図 1 に示す照明光学系における開口絞りの位置における照度分布を示す図である。

【図 10】発光素子、集光レンズ、およびレンズ要素の配置に関する第 1 の変形例を示す図である。

【図 11】発光素子、集光レンズ、およびレンズ要素の配置に関する第 2 の変形例を示す図である。

【図 12】レンズアレイの構造が異なる変形例を示す図である。

【図 13】リレー光学系とオプティカルインテグレータとの距離が異なる変形例を示す図である

30

【図 14】図 13 に示す照明光学系におけるオプティカルインテグレータの入射面における照度分布を示す図である。

【図 15】図 13 に示す照明光学系における開口絞りの位置における照度分布を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 8 】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。但し、以下の説明が不必要に冗長になるのを避け、当業者の理解を容易にするため、必要以上に詳細な説明は省略する場合がある。例えば、既によく知られた事項の詳細説明や実質的に同一の構成に対する重複説明を省略する場合がある。また、先に説明した図に記載の要素については、後の図の説明において適宜に参照する場合がある。

40

図 1 は、本発明の照明光学系の一実施形態を示す図である。

【 0 0 1 9 】

図 1 に示す照明光学系 1 は、マスク M に光を照射する光学系である。マスク M には、照射された光を透過するパターンが形成されており、マスク M は被照射面に配置される。

【 0 0 2 0 】

照明光学系 1 は、光源 10 と、リレー光学系 20 と、オプティカルインテグレータ 30 と、開口絞り 40 と、コンデンサレンズ 50 とを備えている。照明光学系 1 の光軸 AX は図の上下方向を向いている。以下の説明では、光軸 AX の向きを基準として用い、光軸 AX に沿う方向を Z 方向と称し、光軸 AX に垂直な 2 次元方向を XY 方向と称する場合があ

50

る。

【0021】

光源10は複数の発光素子11を有し、発光素子11としては例えばLEDが用いられる。発光素子11は発光面から光を発するものであり、LEDに限定されない。発光素子11は、例えば、半導体レーザーの光が光ファイバーなどで導かれて発光面から発せられるものでもよい。

【0022】

リレー光学系20は、光源10の各発光素子11から発せられる光を重ね合わせてオプティカルインテグレータ30の入射面31へと導く。リレー光学系20の詳細な構造と作用については後述する。

10

【0023】

オプティカルインテグレータ30は、入射面31に入射する光の波面を複数の波面分割要素32で波面分割して出射面33側へと伝達する。なお、オプティカルインテグレータ30における波面分割要素32の数は、光源10の発光素子11の数に依存しない。

【0024】

開口絞り40は、オプティカルインテグレータ30の出射面33から出射される光を絞る。開口絞り40は開閉自在のものであってもよいが、本実施形態における開口絞り40は、マスクMに形成されたパターンの細密さ(粗いパターンか微細なパターンか)に合わせた固定の開口径を有する。開口絞り40のサイズは照明光学系のNA(開口数)に相当し開口絞り40のサイズや開口絞り面に於ける照度分布は投影光学系のNAとの関係で露光の各パターンサイズに対する解像性能に影響する。

20

【0025】

コンデンサレンズ50は、本発明にいうコンデンサ光学系の一例に相当し、開口絞り40を通過した光を被照射面上に(即ちマスクM上に)照射する。コンデンサレンズ50は、複数のレンズが組み合わせられた組み合わせレンズであってもよい。

図2は、本発明の露光装置の一実施形態を示す図である。

露光装置100には、照明光学系1と、マスクステージ110と、投影光学系120と、ワークステージ130が備えられている。

マスクステージ110はマスクMを保持し、そのマスクMには照明光学系1によって光が照射される。

30

ワークステージ130には、例えばガラス基板や半導体基板などといった露光対象となるワークWが保持される。

投影光学系120は、マスクMを透過した光をワークW上に投影してワークWをパターン露光する。

露光装置100は、投影光学系120を有さずに、ワークWがマスクMに近接あるいは接触して保持される方式のものであってもよい。

図1に戻って、リレー光学系20の詳細について説明する。

リレー光学系20は、一例として、集光レンズ群21と、レンズアレイ22と、リレーレンズ23とを有する。

【0026】

40

集光レンズ群21は、光源10の複数の発光素子11に対応した複数の集光レンズ211を有し、レンズアレイ22は、複数の集光レンズ211に対応した複数のレンズ要素221を有する。集光レンズ群21の集光レンズ211は本発明にいう第1レンズ要素の一例に相当し、レンズアレイ22のレンズ要素221は本発明にいう第2レンズ要素の一例に相当する。

【0027】

各集光レンズ211は、対応する各発光素子11から発せられた光を、対応するレンズ要素221の入射側に集光する。具体的には、発光素子11から発せられた光の平行光束成分は、集光レンズ211により、平行光束の方向に応じた箇所に集光される。また、発光素子11上の1点から発せられた発散光束成分は、集光レンズ211により、平行光束

50

として、あるいは平行光束に近い角度の光束としてレンズ要素 2 2 1 に入射される。

【 0 0 2 8 】

レンズアレイ 2 2 の各レンズ要素 2 2 1 は、入射側から出射側へと光を伝達し、本実施形態では、入射側の 1 点に集光された光は平行光束、あるいは平行光束に近い角度の光束として出射され、入射側で平行光束、あるいは平行光束に近い角度の光束として入射された光は出射側の 1 点から発散光束として出射される。

図 3 は、発光素子 1 1 と集光レンズ 2 1 1 とレンズ要素 2 2 1 との位置関係を示す図である。

【 0 0 2 9 】

図 3 には、光源 1 0 と集光レンズ群 2 1 とレンズアレイ 2 2 を Z 方向に見た場合の発光素子 1 1 と集光レンズ 2 1 1 とレンズ要素 2 2 1 との位置関係が示されている。なお、図 3 に示された位置関係はマスク M (面) での照射形状が正方形の場合における位置関係である。

10

複数の発光素子 1 1 は X Y 方向に配列されており、各発光素子 1 1 は四角い発光面を有している。

【 0 0 3 0 】

各発光素子 1 1 に対応して各集光レンズ 2 1 1 と各レンズ要素 2 2 1 が配備されている。集光レンズ 2 1 1 の外形は四角形となっていて、集光レンズ群 2 1 は四角形の集光レンズ 2 1 1 が X Y 方向に束ねられたものとなっている。同様に、レンズ要素 2 2 1 の外形は四角形となっていて、レンズアレイ 2 2 は四角形のレンズ要素 2 2 1 が X Y 方向に束ねられたものとなっている。本実施形態の場合、集光レンズ群 2 1 およびレンズアレイ 2 2 の外形も四角形となっている。

20

【 0 0 3 1 】

上述したように、集光レンズ 2 1 1 は本発明にいう第 1 レンズ要素の一例に相当し、本発明にいう第 1 レンズ要素は丸い外形のものであってもよいが、四角い外形の集光レンズ 2 1 1 が束ねられた集光レンズ群 2 1 によれば、光源 1 0 の各発光素子 1 1 から発せられる光が効率よく集光されるので光の利用効率が高い。

【 0 0 3 2 】

また、レンズ要素 2 2 1 は本発明にいう第 2 レンズ要素の一例に相当し、本発明にいう第 2 レンズ要素は丸い外形のものであってもよいが、四角い外形のレンズ要素 2 2 1 が束ねられたレンズアレイ 2 2 によれば、光源 1 0 の各発光素子 1 1 から発せられる光が効率よく入射されて伝達されるので光の利用効率が高い。

30

集光レンズ群 2 1 の集光レンズ 2 1 1 は、図 1 に示すいわゆる単玉レンズであってもよいが、例えば 2 枚のレンズによる組み合わせレンズであってもよい。

図 4 は、組み合わせレンズの集光レンズ 2 1 1 を示す図である。

図 4 には、側面図 (A) と正面図 (B) が示されている。

【 0 0 3 3 】

組み合わせレンズの集光レンズ 2 1 1 は、発光素子 1 1 側の前レンズ 2 1 2 と、レンズアレイ 2 2 側の後レンズ 2 1 3 との組み合わせからなる。正面図 (B) に示されているように、前レンズ 2 1 2 の外形は丸く、後レンズ 2 1 3 の外形は四角い。集光レンズ 2 1 1 が組み合わせレンズである場合には、丸い前レンズ 2 1 2 と四角い後レンズ 2 1 3 との組み合わせによって光の利用効率が向上する。前レンズ 2 1 2 は、本発明にいう前要素の一例に相当し、後レンズ 2 1 3 は、本発明にいう後要素の一例に相当する。

40

図 4 に示す集光レンズ 2 1 1 からなる集光レンズ群 2 1 が図 3 に示すレンズアレイ 2 2 と組み合わせられることにより、図 4 に示す集光レンズ 2 1 1 からなる集光レンズ群 2 1 が図 3 に示すレンズアレイ 2 2 と組み合わせされない場合 (後述する比較例) と比較して光の利用効率が 1 0 % 程度向上することが期待される。

再び図 1 に戻って説明を続ける。

【 0 0 3 4 】

リレーレンズ 2 3 は、レンズアレイ 2 2 の各レンズ要素 2 2 1 から出射された光を互い

50

に重ね合わせてオプティカルインテグレータ 30 の入射面 31 に入射させる。具体的には、レンズアレイ 22 の出射側の 1 点から出射された発散光束成分は、オプティカルインテグレータ 30 の入射面 31 に平行光束、あるいは平行光束に近い角度の光束として入射され、レンズアレイ 22 から出射された平行光束成分、あるいは平行光束に近い角度の成分は、オプティカルインテグレータ 30 の入射面 31 上の中央に集光される。

【0035】

本実施形態では、レンズアレイ 22 の入射面と、オプティカルインテグレータ 30 の入射面 31 とが光学的な共役関係となっていて、各発光素子 11 の配光分布に相当する照度分布を有する像が入射面 31 上で互いに重畳される。

図 5 は、発光素子 11 の配光特性を示す図である。

10

【0036】

図 5 には、Z 方向を 0° とした極座標が示され、発光素子 11 の配光特性が実線で表されている。図 5 に点線で示された配光特性は、光源がランバースアン配光の場合の配光特性である。実線も点線も 0° 方向を 1 とした相対値で表示されており、点線で示されたランバースアン配光と比較すると発光素子 11 では、大きな角度に対して光束が弱くなっている分、小さな角度でより強い光束となっている。レンズアレイ 22 の各レンズ要素 221 の入射面には配光特性に相当する光の内、レンズ要素 221 で捕捉された例えば -50° ~ +50° の範囲の光が照射されている。レンズ要素 221 が四角い外形の場合、その入射面に照射されている光は四角形の内接円よりも広い範囲になるが、オプティカルインテグレータ 30 の入射面 31 上に重畳される光は丸に近い形状の光となり、これにより、被照射面上のマスク M に高い利用効率で光が照射されることになる。

20

ここで、図 1 に示す実施形態における照度分布を比較例と比較して説明する。

【0037】

比較例としては、図 1 に示すレンズアレイ 22 が無くて、オプティカルインテグレータ 30 の入射面 31 上で発光素子 11 の発光面の像が重ね合わされる照明光学系が用いられる。

【0038】

図 6 は、比較例の照明光学系におけるオプティカルインテグレータ 30 の入射面 31 における照度分布を示す図であり、図 7 は、比較例の照明光学系における開口絞り 40 の位置における照度分布を示す図である。

30

【0039】

図 6 および図 7 には、XY 方向における 2 次元的な照度分布を示す照度分布図 301, 401 と、照度分布図 301, 401 の中心を通る X 方向(図の横方向)の直線上における照度分布を示す照度グラフ 301a, 401a と、照度分布図 301, 401 の中心を通る Y 方向(図の縦方向)の直線上における照度分布を示す照度グラフ 301b, 401b とが示されている。(以下、照度分布の図において同様。)

【0040】

図 6 の照度分布図 301 に示されるように、比較例ではオプティカルインテグレータ 30 の入射面 31 に四角い形状で光が照射される。また、照度グラフ 301a, 301b に示されるように、光が照射された範囲内において均一に近い照度分布となっている。

40

比較例における照度分布は、被照射面において光の利用効率が最も良くなるよう設計された場合の照度分布である。

オプティカルインテグレータ 30 の入射面 31 全体での合計光量は、光源 10 における発光量を基準とした相対値で 756.2 となっている。

【0041】

均一に近い照度分布の光が四角い形状でオプティカルインテグレータ 30 の入射面 31 に照射された結果、図 7 の照度分布図 401 に示されるように、丸い形状の開口絞り 40 によって照度分布の 4 隅で光が遮られる。この結果、比較例では、開口絞り 40 を通過する合計光量が上記相対値で 507.0 となる。また、図 7 の照度グラフ 401a、401b に示されるように、開口絞り 40 を通過する光は上下左右方向の周辺部で照度が大きく

50

低下する。微細なパターンに対してはこの領域の照度が低下しないよう照明範囲が広がるよう設計した方が良い。この場合は開口絞り40によって遮られる光が増加し、合計光量が上記相対値で454.1となり、光の利用効率がさらに低くなる。

【0042】

図8は、図1に示す照明光学系1におけるオプティカルインテグレータ30の入射面31における照度分布を示す図であり、図9は、図1に示す照明光学系1における開口絞り40の位置における照度分布を示す図である。

【0043】

図8の照度分布図302に示されるように、図1に示す実施形態の照明光学系1では、オプティカルインテグレータ30の入射面31に丸い形状で光が照射される。また、照度グラフ302a, 302bに示されるように、光が照射された範囲内において均一に近い照度分布となり、照射範囲の外縁では照度がやや高めとなっている。本実施形態の照明光学系1において、オプティカルインテグレータ30の入射面31全体での合計光量は、上記相対値で729.2となっている。

10

【0044】

均一に近い照度分布の光が丸い形状でオプティカルインテグレータ30の入射面31に照射された結果、図9の照度分布図402に示されるように、開口絞り40の開口全体を光が通過する。また、図9の照度グラフ402a, 402bに示されるように、開口絞り40を通過する光は開口の範囲で均一に近い照度分布となる。この結果、第1実施形態の照明光学系1では、開口絞り40を通過する合計光量が上記相対値で558.1となり、図6および図7に示す比較例に対し光の利用効率が低い。

20

次に、本実施形態の照明光学系1に対する変形例について説明する。

図10および図11は、発光素子11、集光レンズ211、およびレンズ要素221の配置に関する変形例を示す図であり、マスクM(面)での照射形状が円形である場合の例である。

【0045】

図10に示す変形例では、光源10の発光素子11が点線で示された丸い範囲内に縦横に並んで配列される。図10に示す変形例でも、集光レンズ211およびレンズ要素221は、各々が四角い外形を有し、各集光レンズ211および各レンズ要素221が、各発光素子11に対応して配備される。

30

図10に示す丸い配置であっても、各集光レンズ211および各レンズ要素221が四角い外形を有することで光の利用効率が向上する。

【0046】

図11に示す変形例では、光源10の発光素子11が点線で示された丸い範囲内に収まる六角形状に配置され、発光素子11の配列は、互いに60°異なる3方向の列が交わった配列となっている。また、図11に示す変形例では、集光レンズ211およびレンズ要素221は、各々が丸い外形を有し、各集光レンズ211および各レンズ要素221が、各発光素子11に対応して配備される。尚、各集光レンズ211及びレンズ要素221は各々が六角形の外形を有していてもよい。

各集光レンズ211および各レンズ要素221が丸い外形を有する変形例では、図3および図10に示す配置と較べると光の利用効率が低いが、発光素子11を点線で示した丸い範囲内に多く配置できる。また開口絞り40面でフラットな照度分布になるため図6、図7の比較例で開口絞り40の面で周辺までフラットな照度分布になるようにオプティカルインテグレータ30の入射面で照射範囲を広く設計した場合と比較すると光の利用効率が高くなる。

40

図12は、レンズアレイ22の構造が異なる変形例を示す図である。

【0047】

図12に示す変形例の照明光学系2では、レンズアレイ22の各レンズ要素221が第1レンズ222と第2レンズ223とで構成されている。即ち、レンズアレイ22が、第1レンズ222のレンズアレイと第2レンズ223のレンズアレイとの一対で構成されて

50

いる。レンズアレイ 2 2 が一對のレンズアレイで構成されることでレンズアレイ 2 2 の軽量化が図られる。第 1 レンズ 2 2 2 と第 2 レンズ 2 2 3 との対で構成されたレンズ要素 2 2 1 も、本発明にいう第 2 レンズ要素の一例に相当する。

図 1 3 は、リレー光学系 2 0 とオプティカルインテグレータ 3 0 との距離が異なる変形例を示す図である。

【 0 0 4 8 】

図 1 3 に示す変形例の照明光学系 3 では、光源 1 0 およびリレー光学系 2 0 の構造と、オプティカルインテグレータ 3 0 からコンデンサレンズ 5 0 に至る構造は、図 1 に示す照明光学系 1 と同様であるが、リレー光学系 2 0 からオプティカルインテグレータ 3 0 の入射面 3 1 に至る距離が変形例の照明光学系 3 と図 1 に示す照明光学系 1 とでは異なっている。具体的には、図 1 に示す照明光学系 1 での距離に対し、図 1 3 に示す変形例の照明光学系 3 での距離は短くなっている。この結果、リレー光学系 2 0 のリレーレンズ 2 3 によって像が重ね合わされる重畳面 P に対してリレーレンズ 2 3 側に近い面で光がオプティカルインテグレータ 3 0 の入射面 3 1 に入射することになる。これにより、重畳面 P とは異なる面で照射光がオプティカルインテグレータ 3 0 に入射するが、結果として光の利用効率は重畳面 P で入射した場合と殆ど変わらない。

10

【 0 0 4 9 】

図 1 4 は、図 1 3 に示す照明光学系 3 におけるオプティカルインテグレータ 3 0 の入射面 3 1 における照度分布を示す図であり、図 1 5 は、図 1 3 に示す照明光学系 3 における開口絞り 4 0 の位置における照度分布を示す図である。

20

【 0 0 5 0 】

図 1 4 の照度分布図 3 0 3 に示されるように、図 1 3 に示す変形例の照明光学系 3 でも、オプティカルインテグレータ 3 0 の入射面 3 1 に丸い形状で光が照射される。また、照度グラフ 3 0 3 a, 3 0 3 b に示されるように、光が照射された範囲内において均一に近い照度分布となっている。照度分布の均一さは、図 1 3 に示す照明光学系 3 の方が、図 1 に示す照明光学系 1 よりも良く、図 1 3 に示す照明光学系 3 において、オプティカルインテグレータ 3 0 の入射面 3 1 全体での合計光量は、上記相対値で 7 2 9 . 1 となっている。

【 0 0 5 1 】

均一性の良い照度分布の光が丸い形状でオプティカルインテグレータ 3 0 の入射面 3 1 に照射された結果、図 1 5 の照度分布図 4 0 3 に示されるように、開口絞り 4 0 の開口全体を光が通過する。また、図 1 5 の照度グラフ 4 0 3 a, 4 0 3 b に示されるように、開口絞り 4 0 を通過する光は開口の範囲で更に均一に近い照度分布となる。この結果、図 1 3 に示す照明光学系 3 では、開口絞り 4 0 を通過する合計光量が上記相対値で 5 6 3 . 5 となり、光の利用効率は、図 1 の照明光学系 1 に示したオプティカルインテグレータ 3 0 の入射面を重畳面 P に配置した場合と殆ど変わらないが、照度を落とさず開口絞り 4 0 の面で周辺まで均一な照度分布にできるため、より微細なパターンの露光に適しており図 6、図 7 で示した比較例や図 8、図 9 の例に対して優位性がある。また、重畳面 P にオプティカルインテグレータ 3 0 の入射面を配置した場合と照度が殆ど変わらないということは重畳面 P に対してリレーレンズ 2 3 からの距離が遠くなるようオプティカルインテグレータ 3 0 の入射面を配置してもかまわない。

30

40

【 0 0 5 2 】

なお、上記では照明光学系がパターン露光の露光装置に適用される例が示されているが、本発明の照明光学系は、露光対象を均一に全面露光する露光装置に適用されてもよいし、露光以外の照明に適用されてもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 3 】

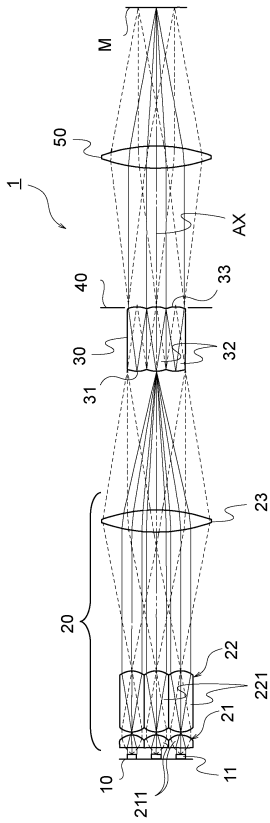
1, 2, 3 ... 照明光学系、 1 0 ... 光源、 1 1 ... 発光素子、 2 0 ... リレー光学系、
2 1 ... 集光レンズ群、 2 1 1 ... 集光レンズ、 2 1 2 ... 前レンズ、 2 1 3 ... 後レンズ
2 2 ... レンズアレイ、 2 2 1 ... レンズ要素、 2 3 ... リレーレンズ、
3 0 ... オプティカルインテグレータ、 3 1 ... 入射面、 3 2 ... 波面分割要素、 3 3 ... 出射面

50

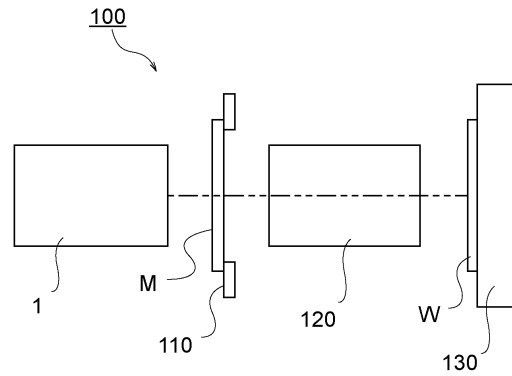
40 ... 開口絞り、50 ... コンデンサレンズ、100 ... 露光装置、
110 ... マスクステージ、120 ... 投影光学系、130 ... ワークステージ

【図面】

【図 1】



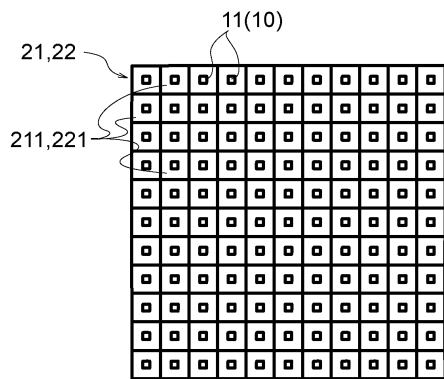
【図 2】



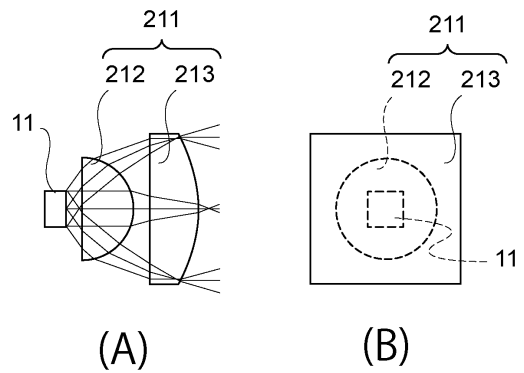
10

20

【図 3】



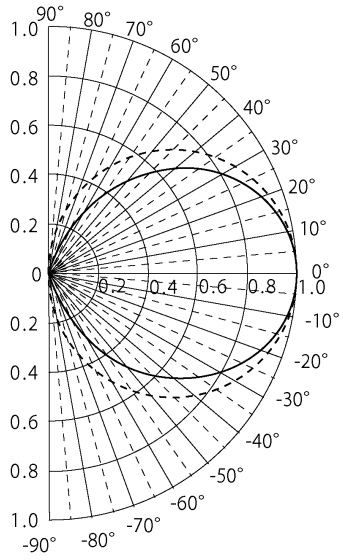
【図 4】



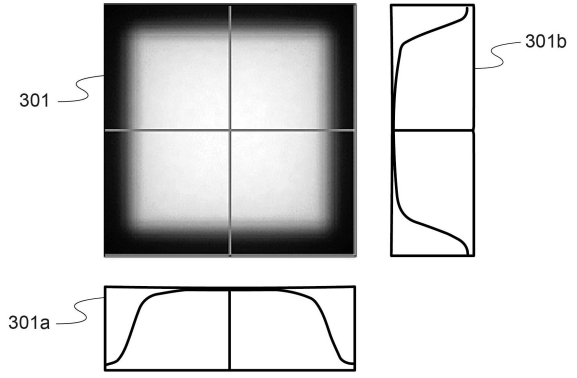
30

40

【 図 5 】

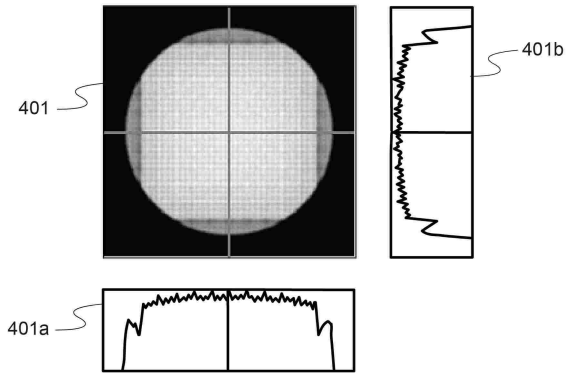


【 図 6 】

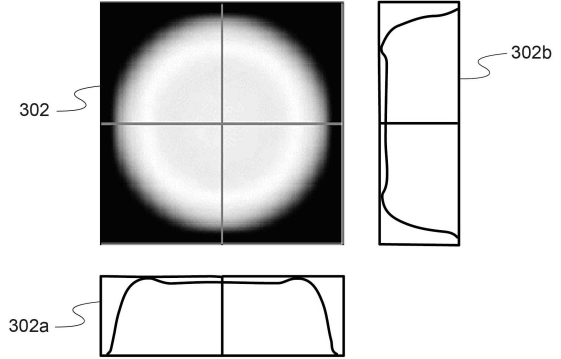


10

【 図 7 】



【 図 8 】



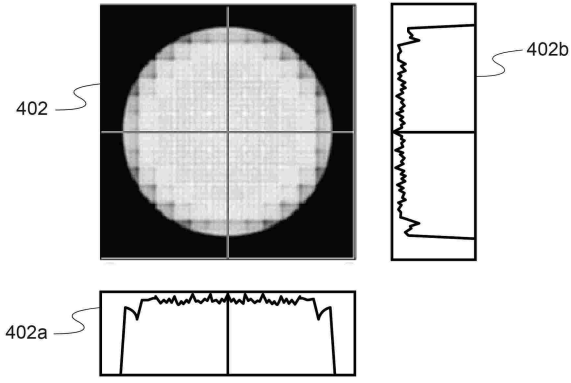
20

30

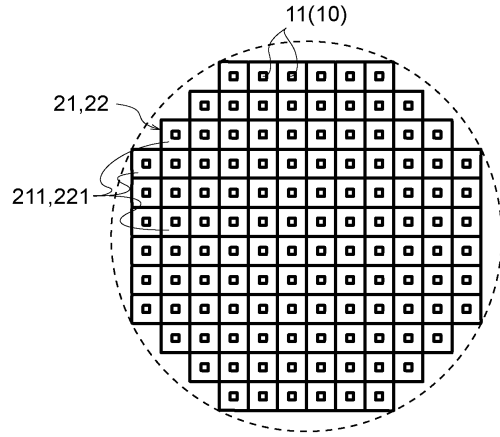
40

50

【 図 9 】

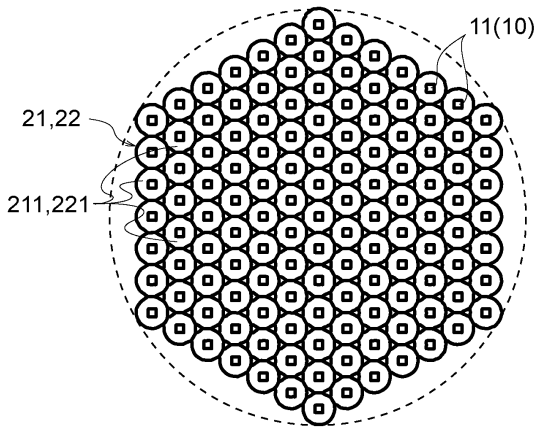


【 図 1 0 】

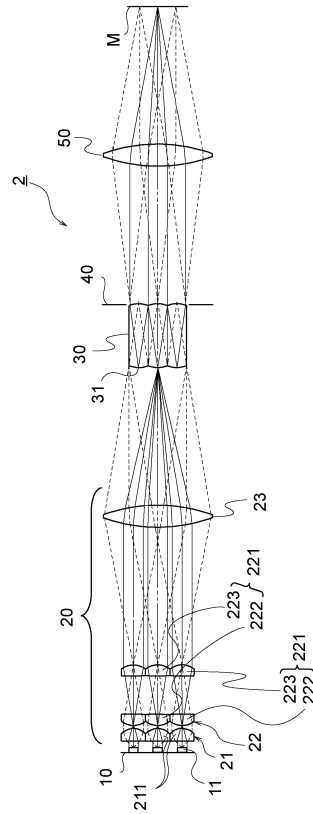


10

【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



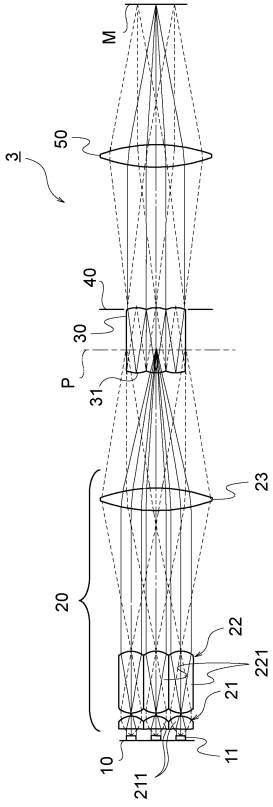
20

30

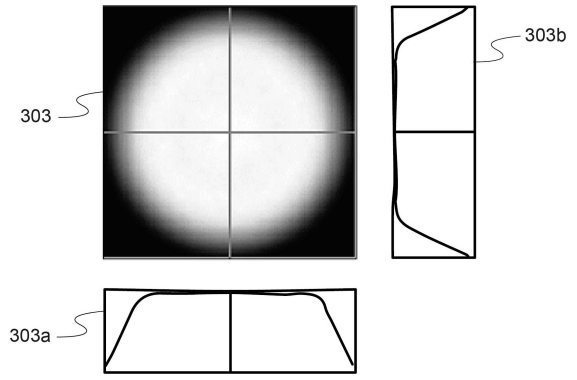
40

50

【図 1 3】



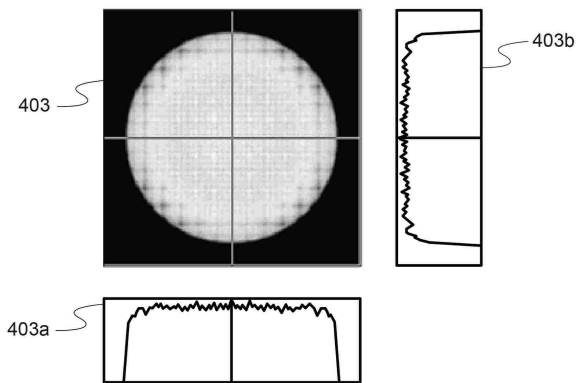
【図 1 4】



10

20

【図 1 5】



30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2020-122921(JP,A)
特開2016-188878(JP,A)
特開2001-147305(JP,A)
特開2003-107400(JP,A)
特開2007-025613(JP,A)
特開2012-203417(JP,A)
特開2021-189397(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G02B 3/00
19/00
G03F 7/20
F21Y 115/00
F21V 5/00
5/02