



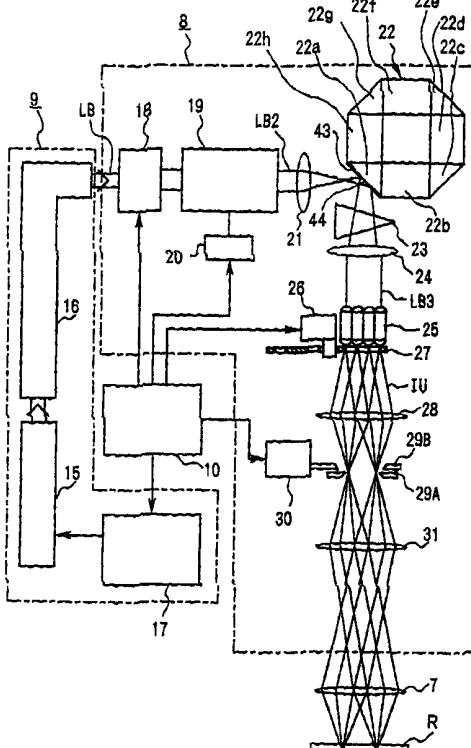
(51) 国際特許分類7 H01L 21/027, G03F 7/20	A1	(11) 国際公開番号 (43) 国際公開日	WO00/70660 2000年11月23日(23.11.00)
(21) 国際出願番号	PCT/JP00/01642	(74) 代理人	大森 聰(OMORI, Satoshi) 〒214-0014 神奈川県川崎市多摩区登戸2075番2-501 大森特許事務所 Kanagawa, (JP)
(22) 国際出願日	2000年3月17日(17.03.00)	(81) 指定国	AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM)
(30) 優先権データ		(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について)	株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル Tokyo, (JP)
特願平11/137840	1999年5月18日(18.05.99)	JP	
特願平11/324748	1999年11月15日(15.11.99)	JP	
特願平11/358204	1999年12月16日(16.12.99)	JP	
(72) 発明者 ; および		(75) 発明者／出願人 (米国についてのみ)	
西 健爾(NISHI, Kenji)[JP/JP]		谷津 修(TANITSU, Osamu)[JP/JP]	
中村協司(NAKAMURA, Kyoji)[JP/JP]		株式会社 ニコン 知的財産部内 Tokyo, (JP)	
〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル			

(54) Title: EXPOSURE METHOD, ILLUMINATING DEVICE, AND EXPOSURE SYSTEM

(54)発明の名称 露光方法、照明装置、及び露光装置

(57) Abstract

An exposure method capable of reducing a speckle pattern (interference fringes) to be formed on a pattern of a transfer receiving object without complicating and upsizing an illuminating optical system and without prolonging an exposure time even when an exposure beam high in coherence is used, wherein a laser beam (LB) as an exposure beam from an exposure light source (9) is guided to a ring-like delay optical system (22) via a deformed illuminating mechanism (19) and a condensing lens (21), and a plurality of light fluxes that have passed through the delay optical system (22) as many times as are varied from each other by open angle-dependent internal reflections are overlapped each other to be taken out as a laser beam (LB3). The laser beam (LB3) illuminates a reticle (R) via a fly-eye lens (25) and condenser lens (7).



(57)要約

可干渉性の高い露光ビームを使用する場合でも、照明光学系をあまり複雑化及び大型化することなく、また露光時間を長くすることなく、転写対象のパターン上に形成されるスペックルパターン（干渉縞）を低減できる露光方法である。露光光源（9）からの露光ビームとしてのレーザビーム（LB）を、変形照明機構（19）及び集光レンズ（21）等を介してリング状の遅延光学系（22）に導き、遅延光学系（22）内を開き角に応じて内面反射によって互いに異なる回数だけ通過した複数の光束を重ね合わせてレーザビーム（LB3）として取り出す。レーザビーム（LB3）がフライアイレンズ（25）、コンデンサレンズ（7）等を介してレチクル（R）を照明する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	DM ドミニカ	KZ カザフスタン	RU ロシア
AG アンティグア・バーブーダ	DZ アルジェリア	LC セントルシア	SD スーダン
AL アルバニア	EE エストニア	LI リヒテンシュタイン	SE スウェーデン
AM アルメニア	ES スペイン	LK スリ・ランカ	SG シンガポール
AT オーストリア	FI フィンランド	LR リベリア	SI スロヴェニア
AU オーストラリア	FR フランス	LS レソト	SK スロヴァキア
AZ アゼルバイジャン	GA ガボン	LT リトアニア	SL シエラ・レオネ
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB 英国	LU ルクセンブルグ	SN セネガル
BB バルバドス	GD グレナダ	LV ラトヴィア	SZ スワジランド
BE ベルギー	GE グルジア	MA モロッコ	TD チャード
BF ブルギナ・ファソ	GH ガーナ	MC モナコ	TG トーゴー
BG ブルガリア	GM ガンビア	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BJ ベナン	GN ギニア	MG マダガスカル	TM トルクメニスタン
BR ブラジル	GR ギリシャ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR トルコ
BY ベラルーシ	GW ギニア・ビサオ	共和国	TT トリニダッド・トバゴ
CA カナダ	HR クロアチア	ML マリ	TZ タンザニア
CF 中央アフリカ	HU ハンガリー	MN モンゴル	UA ウクライナ
CG コンゴ	ID インドネシア	MR モーリタニア	UG ウガンダ
CH スイス	IE アイルランド	MW マラウイ	US 米国
CI コートジボアール	IL イスラエル	MX メキシコ	UZ ウズベキスタン
CM カメルーン	IN インド	MZ モサンビーク	VN ベトナム
CN 中国	IS アイスランド	NE ニジニノヴゴロド	YU ユーロースラヴィア
CR コスタ・リカ	IT イタリア	NL オランダ	ZA 南アフリカ共和国
CU キューバ	JP 日本	NO ノールウェー	ZW ジンバブエ
CY キプロス	KE ケニア	NZ ニュージーランド	
CZ チェコ	KG キルギスタン	PL ポーランド	
DE ドイツ	KP 北朝鮮	PT ポルトガル	
DK デンマーク	KR 韓国	RO ルーマニア	

明細書

露光方法、照明装置、及び露光装置

5 技術分野

本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、プラズマディスプレイ又は薄膜磁気ヘッド等のデバイスを製造するためのリソグラフィ工程中でマスクパターンをウエハ等の基板上に転写する際に使用される露光方法に関し、特に被照明体上での照度分布を均一化するための光学系を備えた照明装置を用いた露光装置に使用して好適なものである。

背景技術

半導体素子等を製造する際に使用される一括露光型（ステッパー型）若しくは走査露光型（ステップ・アンド・スキャン方式等）の投影露光装置、又はプロキシミティ方式の露光装置等の各種の露光装置においては、マスクとしてのレチクル上の微細なパターンを、基板としてのレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に高精度に転写するために、露光用の照明光（露光光）を用いてレチクル上のパターンを均一な照度分布で照明する照明光学系が備えられている。

照度分布を均一化するための光学部材としては、従来よりフライアイレンズ等のオプティカル・インテグレータが使用されている。そして、例えば日本国特開平6-196389号公報及び対応する米国特許第5,636,003号には、照度分布の均一性を高めるために、2段のフライアイレンズ（ダブル・フライアイ）を備えた照明光学系が開示されている。

図17(a)は、2段のフライアイレンズを備えた従来の照明光学系の要部を示し、この図17(a)において、不図示の露光光源からの幅BW1の

照明光 I L は第 1 フライアイレンズ 6 5 に入射し、第 1 フライアイレンズ 6 5 の射出面に形成される複数の光源像からの照明光が集光レンズ系 6 6 を介して第 2 フライアイレンズ 6 7 に入射し、第 2 フライアイレンズ 6 7 からの照明光がコンデンサレンズ系 6 8 を介してレチクル R を照明している。

一方、図 17 (b) は、1 段のフライアイレンズ（シングル・フライアイ）を有する従来の照明光学系の要部を示し、この図 17 (b) において、幅 B W 2 の照明光 I L がフライアイレンズ 6 9 に入射し、フライアイレンズ 6 9 の各レンズ素子の射出面に形成される各光源像からの照明光が、コンデンサレンズ系 7 0 を介して重畠的にレチクル R を照明している。

前者のダブル・フライアイ方式では、所定方向へのフライアイレンズ 6 5 , 6 7 のレンズ素子の配列数をそれぞれ N 1 , N 2 とすると、フライアイレンズ 6 7 の射出面でその所定方向に形成される光源像の個数は N 1 · N 2 となる。これに対して、後者のシングル・フライアイ方式でその所定方向にダブル・フライアイ方式と同程度の照度分布均一性を得るために、その所定方向において、フライアイレンズ 6 9 の配列数を N 1 · N 2 程度に細分化する必要がある。

また、露光光は波長幅が狭く、比較的可干渉性が高いため、そのままで使用するとレチクルの照明領域上にスペックルと呼ばれる干渉縞が生じて、これが露光量むらを引き起こす恐れがある。そこで、露光光の時間的な可干渉性を低減させて（コヒーレンス時間を短くして）干渉縞を低減するために、日本国特公平 7 - 1 0 4 5 0 0 号公報（日本国特許第 2 0 7 1 9 5 6 号）では、ビームスプリッタで露光光を 2 分割し、2 分割した光束間に所定の光路差を付与して再び重ね合わせるようにした遅延光学系が開示されている。また、日本国特許第 2 5 9 0 5 1 0 号公報では、一面がビームスプリッタ面とされて残りの面が反射面（又は全反射面）とされた多角形状の断面形状を有する遅延光学素子のビームスプリッタ面に露光光を照射することによって、

時間的な可干渉性を低減するようにした露光装置が開示されている。

上記のように従来の露光装置では、1段又は2段のオプティカル・インテグレータを備えた照明光学系が使用されており、更にスペックルの発生を防止する技術も開発されていた。これに関して、近年ではより高い解像度を得るために露光波長の短波長化が進んでおり、現在はKrFエキシマレーザ光

(波長248nm)が主流となっている。そして、今後はArFエキシマレーザ光(波長193nm)、更にはF₂レーザ光(波長157nm)等の真空紫外光の使用が検討されている。このようなレーザ光は、従来の輝線に比べて可干渉性が高い。また、これらの短波長のレーザ光を、屈折系よりもなる投影光学系に通す場合、使用できる硝材は石英ガラス及び蛍石等に限られて、色消しが困難になるため、そのレーザ光の波長は通常は例えば半値幅が0.1~1pm程度のオーダに狭帯化される。このように狭帯化されたレーザ光の可干渉性は更に高くなつて、干渉縞(スペックル)のコントラストが高くなるため、より高度な干渉縞の発生防止技術が必要になる。

また、最近は半導体素子の1チップ当たりの面積が増大していると共に、より高い解像度を得るためにには投影光学系の開口数を高めることも有効であるが、大型で、かつ広い露光領域の全体で高い結像性能を得ることができる投影光学系の設計及び製造は困難になりつつある。そこで、レチクル上の細長いスリット状の照明領域に露光光を照射した状態で、レチクル及びウエハを投影光学系に対して同期移動して露光を行う走査露光型の投影露光装置が注目されている。この場合、その照明領域の走査方向の幅(以下、「スリット幅」という)が狭いほど、同じ大きさの投影光学系を使用した際に露光フィールドの幅を広くでき、大面積のチップパターンの露光が可能となる。但し、エキシマレーザ光のようなパルス光を使用する場合には、パルスエネルギーのばらつきを考慮すると、ウエハ上の各点に対する露光パルス数を所定の最小パルス数以上にする必要がある。また、スリット幅を狭くした状態で、

スループットを高めるためにステージの移動速度を速くすると、露光パルス数が少なくなってしまうが、最近のエキシマレーザ光源はパルス発光の周波数を高めることができるようになり、露光パルス数の問題は解消されつつある。

5 しかしながら、スリット幅を狭くすると、オプティカル・インテグレータとしてフライアイレンズを使用する場合、スリット幅を狭くした分だけ走査方向に対してレンズ素子を細分化する必要がある。このように複数のレンズ素子の配列ピッチを細かくすると、隣接するレンズ素子を通過する光束の可干渉性が高まるために、レチクルの照明領域に干渉縞が発生し易くなる。

10 即ち、図17(a)のダブル・フライアイ方式では、照明光ILの横方向のコヒーレンス長を Δ として、1段目のフライアイレンズ65の各レンズ素子の幅は Δ よりも広くできる。この場合、フライアイレンズ65の或る隣接するレンズ素子の境界近傍に入射した光束A1, A2がそれぞれレチクルR上の異なる点P1, P2に入射しているものとする。そして、そのレンズ素子の境界からそれぞれ間隔 Δ_1 及び Δ_2 ($\Delta_1 + \Delta_2 = \Delta$ とする) だけ離れた位置に入射する光束B1, B2も、フライアイレンズ67を介することによってそれぞれ点P1, P2に入射しているものとすると、点P1, P2で干渉が生じて、レチクルR上に干渉縞が形成される。

15

同様に、図17(b)のシングル・フライアイ方式では、フライアイレンズ69のレンズ素子の幅が、照明光ILの横方向のコヒーレンス長 Δ と同程度に狭く形成されているものとして、レンズ素子間の或る境界に入射した光束A3, A4がそれぞれレチクルR上の異なる点P3, P4に入射し、それと隣接する境界に入射した光束B3, B4もそれぞれ点P3, P4に入射しているものとする。この場合にも、点P3, P4で干渉が生じて、レチクルR上に干渉縞が形成される。

20

25

即ち、照度分布がガウス分布状のレーザ光のレチクル上での照度分布を均

一化するためにはオプティカル・インテグレータが必要であるが、オプティカル・インテグレータによって重畠的にレチクルを照明すると、干渉縞が発生し易くなる。また、オプティカル・インテグレータとしてロッド型インテグレータ（ロッドレンズ）を使用した露光装置も開発されているが、従来の
5 ロッド型インテグレータではフライアイレンズと同様に干渉縞が発生し易いという不都合がある。

そこで、時間的な可干渉性を低下させて、その干渉縞を低減するために、上記の遅延光学系又は遅延光学素子を併用することも可能である。しかしながら、狭帯化されて高い可干渉性を有するレーザ光よりも最近の露光光に
10 対しては、従来の遅延光学系及び遅延光学素子は大型化及び大重量化する傾向がある。更に、その遅延光学系又は遅延光学素子に照度分布の均一化作用も持たせることができれば、照明光学系の構成を簡素化することができる。

また、遅延光学系や遅延光学素子を使用することなく、干渉縞による照度むらを軽減するために、従来は例えばフライアイレンズの前に振動ミラーを
15 配置して、フライアイレンズに入射するレーザ光を振動させてレチクル上の干渉縞を移動させることによって、積分効果で照度むらを低減させる方法も使用されている。この場合、エキシマレーザ等はパルス光であるため、パルス発光毎に干渉縞が次第に移動するように制御される。しかしながら、この
20 ように振動ミラーを用いる方法では、或る程度の露光時間を確保する必要があるため、必要な露光量分布の均一性を得ようとすると、露光時間が長くなつてスループットが低下するという不都合があった。

本発明は斯かる点に鑑み、可干渉性の高い照明光（露光ビーム又は照明ビーム）を使用する場合でも、照明光学系をあまり複雑化及び大型化することなく、また照明時間（露光時間）を長くすることなく、転写対象のパターン上で実質的にほぼ均一な照度分布が得られる露光方法を提供することを第1
25 の目的とする。

更に本発明は、そのような露光方法を実施する際に使用できる照明装置を提供することを第2の目的とする。

更に本発明は、そのような照明装置を用いて高いスループットで、かつ露光量むらを小さくして露光を行うことができる露光装置を提供することを第5の目的とする。

また、本発明は、可干渉性の高いパルス光（露光ビーム又は照明ビーム）を使用して走査露光を行う場合に、照明光学系をあまり大型化することなく、走査露光後の被露光基板上での積算露光量分布の均一性を向上できる露光方法を提供することを第4の目的とする。

10 更に本発明は、そのような露光方法を実施する際に使用できる照明装置又は露光装置を提供することを第5の目的とする。

発明の開示

本発明による第1の露光方法は、露光ビームで第1物体（R）を照明し、この第1物体のパターンを第2物体（W）上に転写する露光方法において、その露光ビームを所定の開き角分布を有する光束に調整し、このように調整された光束を実質的に閉じたループ状の光路に通し、このループ状の光路をそれぞれ開き角に応じて互いに異なる回数だけ通過した複数の光束を重ね合わせてその第1物体に導くようにしたものである。

20 斯かる本発明によれば、そのループ状の光路に所定の開き角分布を持った露光ビームを供給すると、その露光ビーム内の開き角（入射角）が異なる成分は、それぞれ開き角に応じてその光路の外周面で反射を繰り返して進行することとなる。この際、例えばその光路の途中にその光路の断面より小さい窓部を形成しておくと、その窓部を通過する成分は第1物体側に射出される。一方、その窓部よりも大きく広がった成分は、再びその光路内を通過して、最終的にその窓部を通過する成分のみが第1物体側に射出される。この結果、

そのループ状の光路を開き角に応じてそれぞれ1回、2回、3回、…だけ通過した成分がその窓部から重ね合わせて射出されることになる。

そのループ状の光路を1回通過するのに要する光路長を、コヒーレンス時間に応じて定まるコヒーレンス長以上に長く設定しておくと、遅延効果によって複数の成分間の可干渉性は大きく低下する。即ち、その窓部から射出される露光ビームは、各成分の開き角に応じた遅延効果によって時間的な可干渉性が低下し、空間的な可干渉性も低下する。更に、外周部での反射によって入射時の開き角（入射角）の情報は維持されると共に、外周部での繰り返し反射によって照度分布の均一化も行われる。言い換えると、そのループ状の光路の断面の大きさと射出用の窓部の大きさとに応じて、その光束の分割（波面分割）が行われる。従って、そのループ状の光路によって遅延効果及び照度分布の均一化効果が得られるため、その露光ビームがガウス分布状でかつ可干渉性が高い場合でも、照明光学系を簡素化した上で、転写対象のパターン上の干渉縞（スペックル）が低減されて、ほぼ均一な照度分布が得られる。

次に、本発明の第1の照明装置は、光源（15）からの照明光で被照明体（R）上のパターンを照明する照明装置において、その光源からの照明光を受光する窓部（44）を備え、この窓部から入射した光束をそれぞれ開き角に応じて互いに異なる回数だけ通過させた複数の光束を重ね合わせてその被照明体側に射出する光学部材（22）を設けたものである。斯かる本発明によれば、その光学部材（22）はループ状の光路となって、照明光の遅延光学素子及び照度分布の均一化素子として作用するため、本発明の第1の露光方法が使用できる。

この場合、その光源とその光学部材との間に、その光源からの照明光を所定の開き角分布を有する光束に調整する開き角調整光学系（21）を配置し、その光学部材とその被照明体との間に、その光学部材からの照明光から複数

の光源像を形成する多光源形成光学系（25）と、その複数の光源像からの光束を重畠的にその被照明体に照射するコンデンサ光学系（7）と、を配置することが望ましい。

また、その窓部（44）は、その光学部材（22）の中心軸から偏心した位置に配置されることが望ましい。更に、その窓部をその照明光の射出用の窓部としても兼用するようにしてもよい。また、その光学部材の一例は、外面反射部材（ミラー等）又は角柱状や円柱状の透過部材（ロッド部材等）をリング状に配置したものである。

その窓部をその光学部材の中心軸から偏心させた場合には、入射した照明光は上下左右方向で反射面に達する条件が異なるようになる。この結果、開き角に応じて定まる遅延条件（ループの通過回数等）が、上下左右方向で互いに異なるようになり、斜め方向に進行する照明光の遅延条件は、その近傍の上下方向及び左右方向の遅延条件を平均化したような条件となる。その結果、遅延条件の異なる多くの遅延光学系を一つの光学部材で兼用することが可能となり、時間的な可干渉性が更に低下する。

なお、そのように窓部を光学部材の中心軸から偏心させる代わりに、その窓部に供給する照明光の方向をその中心軸に対して所定の傾きを持たせるようにしてもよい。

また、本発明による第1の露光装置は、第1物体上のパターンを第2物体上に転写する露光装置において、本発明の照明装置からの照明光でその第1物体上のパターンを照明するものである。

また、本発明による第2の露光装置は、露光ビームで第1物体（R）を照明する照明系を有し、その第1物体を介してその露光ビームで第2物体（W）を露光する露光装置において、その照明系内でその露光ビームを内面反射させ、かつその進行方向を変化させる伝送部（22a～22h）を有する光学部材（22）を備え、その光学部材には、更にその露光ビームを射出するた

めにその伝送部の断面積よりも小さい開口（44）が形成されたものである。これらの露光装置においては、その第1物体上には干渉縞が殆ど形成されることがなくなり、露光量分布が均一化されるため、その第2物体上に転写されるパターンの線幅均一性が向上する。

5 次に、本発明による第2の露光方法は、露光ビームで第1物体（R）を照明し、この第1物体のパターンを経た露光ビームで第2物体（W）を露光する露光方法において、その露光ビームを、反射面によって囲まれると共に少なくとも1箇所の折り曲げ部（58A）を有する開いた送光路（56）を介して、その第1物体のパターン面と実質的に共役な面（76G）に導き、この面を通過したその露光ビームをその第1物体に導くようにしたものである。
10

斯かる本発明によれば、その送光路では外面での反射によって、ロッド型インテグレータと同様に複数個の光源像（二次光源）が虚像として形成される。この際に、隣接する光源像は反射面に関して反転しているために可干渉性が低下して、第1物体上で発生する干渉縞（スペックル）のコントラストが低下する。その複数個の光源像の形成は、露光ビームの波面分割とも言うことができる。そして、その露光ビームの開き角（照明系のコヒーレンスファクタ）を大きくする程に、又はその送光路を長くする程に形成される光源像（波面分割数）が多くなって積分効果が大きくなり、可干渉性も低下するため、その第1物体のパターン上で照度分布の均一性も向上する。但し、
15
20 単にその送光路を長くすると照明光学系が大型化してしまうが、本発明ではその送光路を折り曲げているため、その照明光学系が小型化できる。

この場合、露光ビームとして、例えば発振波長幅が0.1～1pm程度のオーダに狭帯化されたレーザ光を使用する場合には、その送光路をその第1物体のパターン上で十分に均一な照度分布が得られる程に長くして、かつその照明光学系を小型化するためには、その送光路には少なくとも3箇所の折り曲げ部を設けることが望ましい。
25

また、その折り曲げ部（58A）による折り曲げ方向において、その送光路（56）の幅は入射部（57A）側よりも射出部（57B）側の方が広いことが望ましい。上記のように波面分割数を大きくするための一つの方法が露光ビームの開き角を大きくすることであるが、その送光路の断面積が一定の状態でその開き角を大きくすると、その折り曲げ部における光量損失が大きくなってしまう。これに対して、その送光路の入射部側の幅d₁に対して射出部側の幅d₂を広くすることによって、その折り曲げ部における光量損失を少なくできる。

また、本発明による第3の露光方法は、パルス発光される露光ビームで第1物体（R）を照明し、この第1物体と第2物体（W）とを同期移動して、その第1物体のパターンを経たその露光ビームでその第2物体を走査露光する露光方法において、予めその第2物体の走査方向におけるこの第2物体上でその露光ビームの強度分布の繰り返しのピッチ（Q1）を計測しておき、その露光ビームのパルス発光の1周期の間にその第2物体がその走査方向に移動する距離（Q2）を、その計測されたピッチの非整数倍に設定するものである。

斯かる本発明において、1パルス分の露光ビームによってその第2物体の走査方向に沿ってその第2物体上に仮にピッチQ1の照度分布のむら（干渉縞等）が発生したとしても、その第2物体がその走査方向に沿って距離Q2（≠n・Q1、nは1以上の整数）だけ移動する毎に露光ビームをパルス発光することによって、平均化効果によってその第2物体上で積算露光量の分布は次第に均一化される。

次に、本発明による第2の照明装置は、光源（9）からの照明ビームで被照明体（R）上のパターンを照明する照明装置において、それぞれ反射面によって囲まれて内部をその照明ビームが通過する複数個の伝送部（57A～57G）と、この複数の伝送部の境界部でその照明ビームの光路を折り曲げ

る一つ又は複数の反射部（58A～58F）とを備え、その複数個の伝送部のうちの一つの伝送部（57A）でその照明ビームを取り込み、他の伝送部（57G）からその第1物体のパターン面と実質的に共役な面（76G）にその照明ビームを照射する多光源形成光学系（56）と、その実質的に共役な面を通過したその照明ビームをそのパターン上に集光するコンデンサ光学系（31，7）とを有するものである。

また、本発明による第3の露光装置は、本発明の第2の照明装置からの照明ビームでその被照明体としての第1物体（R）を照明し、この第1物体のパターンを経たその照明ビームで第2物体（W）を露光するものである。

また、本発明による第4の露光装置は、露光ビームで第1物体（R）を照明する照明系を有し、その第1物体を介してその露光ビームで第2物体（W）を露光する露光装置において、その照明系内でその露光ビームを内面反射させる伝送部（57A，58A，57B）を有する光学部材（56）を備え、その光学部材のその伝送部は少なくとも1箇所で折り曲げられると共に、その折り曲げの前（幅d1）よりもその折り曲げの後（幅d2）でその伝送部の幅を大きくしたものである。

また、本発明による第5の露光装置は、パルス光源（9）からの露光ビームで第1物体を照明し、ステージ系（1，4，5）を介してその第1物体と第2物体とを同期移動して、その第1物体のパターンを経たその露光ビームでその第2物体を走査露光する露光装置において、その第2物体の走査方向におけるこの第2物体上でのその露光ビームの強度分布の繰り返しのピッチを記憶する記憶部（13a）と、この記憶されているピッチに応じてそのパルス光源の発光周波数及びそのステージ系によるその第2物体の走査速度を制御する制御系（13）とを有するものである。

これらの本発明の第2の照明装置、第3及び第4の露光装置、並びに第5の露光装置によってそれぞれ本発明の第2の露光方法、及び第3の露光方法

を実施できる。

また、その第5の露光装置においては、その第2物体を駆動するステージ上での照度分布を計測するための光電検出器（2）を備えることが望ましい。

次に、本発明のデバイス製造方法は、上記の本発明の露光方法を用いてデ
5 バイスパターン（R）をワークピース（W）上に転写する工程を含むもので
ある。本発明の適用によって露光量むらが低減されるため、高機能のデバイ
スを製造できる。

図面の簡単な説明

10 図1は、本発明の第1の実施の形態の投影露光装置を示す概略構成図である。図2は、図1中の照明系8を示す構成図である。図3は、図2中の変形照明機構19の構成及び作用の説明に供する図である。図4は、図3の変形照明機構19で輪帯照明を行う場合の説明図である。図5は、変形照明機構の他の構成例を示す図である。図6は、図2中の遅延光学系22の構成及び
15 作用の説明図である。図7は、図6の遅延光学系22内を開き角に応じて互
いに異なる回数だけ通過する複数の光束を示す図である。図8において、
（a）は図2の遅延光学系22を示す斜視図、（b）は図2の遅延光学系2
2の入射出面43の開口44を示す斜視図、（c）は入射出面43に設ける
- 窓部の第1の変形例を示す斜視図、（d）は入射出面43に設ける窓部の第
20 第2の変形例を示す斜視図である。図9は、図2の遅延光学系22の種々の変
形例を示す図である。図10は、本発明の第2の実施の形態の投影露光装置
を示す概略構成図である。図11は、図10中の照明系8等を示す一部を切
り欠いた構成図である。図12は、図11中の折り曲げ型ロッド状光学部材
56の構成及び作用の説明図である。図13は、図11中の折り曲げ型ロッ
25 ド状光学部材56の隣接する2つのロッド部材の折り曲げ方向の幅を次第に
広くする効果の説明図である。図14は、折り曲げ型ロッド状光学部材56

の他の構成例を示す図である。図15は、ウエハ上の露光領域での照度分布のピッチQ1と、露光ビームをパルス発光する毎にウエハが移動する距離との関係の説明図である。図16は、照度むらセンサ2を用いて露光領域の照度分布のピッチQ1を計測する際の動作の説明図である。図17において、

5 (a) は従来のダブル・フライアイ方式の照明系を示す図、(b) は従来のシングル・フライアイ方式の照明系を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の好ましい第1の実施の形態につき図1～図9を参照して説明する。本例は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置で露光を行う場合に本発明を適用したものである。

図1は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図1において、露光光源9からパルス発光される露光用の照明光（露光ビーム）としての狭帯化された波長を有するレーザビームLBが照明系8に入射している。本例の露光光源9としては、発振波長幅が一例として0.1～1pm程度に狭帯化されたKrFエキシマレーザ光源（発振波長248nm）が使用されているが、それ以外にArFエキシマレーザ（波長193nm）、F₂レーザ（波長157nm）、又はYAGレーザの高調波発生装置等の可干渉性の高いレーザビーム等を発生する露光光源を使用する場合にも本発明が適用される。更には、露光光源9として、X線源等も使用できる。なお、これらの光源はパルス光源であるが、連続発光する光源を使用する場合にも本発明が適用できる。

また、照明系8は、後述のように入射する光束の断面形状を所望の形状に変換する光学系と、時間的な可干渉性を低減するための光学部材と、オプティカル・インテグレータ（ユニフォマイザ又はホモジナイザ）としてのフライアイレンズと、リレーレンズ系と、視野絞り（レチクルブラインド）とを備えている。そして、入射するレーザビームLBは照明系8によって所定の

開口数を有すると共に、照度分布が均一化された照明光 I U に変換され、照明光 I U はコンデンサレンズ系 7 を経てレチクル R のパターン面を細長い矩形の照明領域で照明する。その照明光 I U のもとで、第 1 物体又はマスクとしてのレチクル R のパターンの像が投影光学系 3 を介して投影倍率 β (β は 5 例えば $1/4$, $1/5$, $1/6$ 等) で、第 2 物体又は基板としてのレジストが塗布されたウエハ (wafer) W 上の矩形の露光領域に投影される。ウエハ W は例えば半導体 (シリコン等) 又は SOI (silicon on insulator) 等の半導 10 体デバイス製造用の円板状の基板である。以下、投影光学系 3 の光軸 A X に垂直な平面内で図 1 の紙面に平行に X 軸を、図 1 の紙面に垂直に Y 軸を取つて説明する。本例のレチクル R 及びウエハ W の走査露光時の走査方向は Y 方向である。

このとき、レチクル R はレチクルステージ 5 上に保持され、レチクルステージ 5 は例えばリニアモータ方式でレチクルベース 4 上を Y 方向に連続移動し、X 方向、Y 方向、回転方向に例えば同期誤差を補正するように微動する。 15 レチクルステージ 5 の X 座標、Y 座標、回転角はレチクルステージ制御系 1 2 に備えられたレーザ干渉計によって高精度に計測されており、この計測結果、及び主制御系 1 3 からの制御情報に基づいてレチクルステージ制御系 1 2 はレチクルステージ 5 を駆動する。

- 一方、ウエハ W は不図示のウエハホルダを介してウエハステージ 1 上に保 20 持されており、ウエハステージ 1 は、不図示の定盤上を例えばリニアモータ 方式で Y 方向に連続移動し、X 方向、Y 方向にステップ移動する。また、不 図示のオートフォーカスセンサの検出結果に基づいて、ウエハステージ 1 は、ウエハ W の露光領域の表面が投影光学系 3 の像面に合致するように、ウエハ W のフォーカス位置 (Z 方向の位置)、及び傾斜角をサーボ方式で制御する。 25 ウエハステージ 1 の X 座標、Y 座標、回転角はウエハステージ制御系 1 1 に 備えられたレーザ干渉計によって高精度に計測されており、この計測結果及

び主制御系 13 からの制御情報に基づいてウエハステージ制御系 11 はウエハステージ 1 を駆動する。また、主制御系 13 には照明制御系 10 が接続され、照明制御系 10 は、露光光源 9 の発光タイミングや発光出力等の制御を行うと共に、照明系 8 内の所定の部材（詳細後述）の動作を制御することによって、照明条件の設定（通常照明と変形照明との切り換え、及び照明光のコヒーレンスファクタである σ 値の設定等）を行う。

走査露光時には、主制御系 13 の制御のもとで照明制御系 10 によって照明条件の設定が行われ、露光光源 9 のパルス発光が開始された後、レチクルステージ 5 を介してレチクル R を +Y 方向（又は -Y 方向）に速度 VR で移動するのに同期して、ウエハステージ 1 を介してウエハ W を -Y 方向（又は +Y 方向）に速度 $\beta \cdot VR$ (β はレチクル R からウエハ W への投影倍率) で移動することで、ウエハ W 上の一つのショット領域への露光が行われる。レチクル R とウエハ W との走査方向が逆であるのは、投影光学系 3 が反転投影を行うからである。その後、ウエハ W を次のショット領域が露光領域の手前に来るようステップ移動して、上記の同期走査を行うという動作がステップ・アンド・スキャン方式で繰り返されて、ウエハ W 上の各ショット領域へのレチクル R のパターン像の露光が行われる。

次に、本例の露光光源 9 及び照明系 8 の構成について詳細に説明する。

図 2 は、図 1 中の露光光源 9 及び照明系 8 の構成を示し、この図 2 において、露光光源 9 は、直線偏光のレーザビーム LB を発生するレーザ光源本体部 15 と、そのレーザビーム LB を照明系 8 に伝えるビームマッチングユニット (BMU) 16 と、レーザ光源本体部 15 を駆動するレーザ電源部 17 とを備えている。レーザ電源部 17 は、照明制御系 10 の制御のもとでレーザ光源本体部 15 におけるレーザビーム LB のパルス発光のタイミングの制御、発振周波数の微調整、及び発光パワー（平均パルスエネルギー）の微調整等を行う。

そして、照明系 8において、レーザビーム LB は減光装置 18 によって所定の照度（＝単位面積当たりの平均パルスエネルギー×発振周波数）になるように減光される。本例のようにパルス発光型のレーザビーム LB（照明光 I U）を露光ビーム又は照明ビームとして使用する場合、ウエハ上の各点において積算露光量を適正值に対して許容範囲内に収めるためには、ウエハ上の各点に対する露光パルス数 N（N は整数）をパルスエネルギーのばらつきに応じて定まる所定の最小パルス数 N_{min} 以上にする必要がある。更に、ウエハ W 上のレジスト感度（適正露光量）を E [J/mm²]、ウエハ W 上での平均パルスエネルギーを P [J/mm²] とすると、露光パルス数 N を用いて所定の許容範囲内で次の関係が成立する必要がある。

$$E = N \cdot P \quad \dots (1)$$

また、ウエハステージ 1 の走査速度を V [mm/s]、ウエハ W 上のスリット状の露光領域の走査方向（Y 方向）の幅（ウエハ上でのスリット幅）を D、レーザビーム LB の発振周波数を f [1/s] とすると、露光パルス数 N は次式で表される。

$$N = f \cdot (D/V) \geq N_{min} \quad \dots (2)$$

この（2）式を（1）式に代入すると、次式が得られる。

$$E \cdot V = f \cdot P \cdot D \quad \dots (3)$$

そこで、スリット幅 D が固定されているものとすると、まず主制御系 13 は、（2）式中の $f \cdot (D/V) \geq N_{min}$ が成立するように、発振周波数 f 及び走査速度 V の値を決定し、これに応じて照明制御系 10 はレーザ電源部 17 にレーザビーム LB の発振周波数 f を設定する。次に主制御系 13 は、（1）式に露光パルス数 N 及びレジスト感度 E を代入することによって、平均パルスエネルギー P の値を算出し、算出結果を目標値として照明制御系 10 に供給する。この際に、予め照明光学系の開口絞りが標準的な場合について、減光装置 18 の入射面でのレーザビーム LB の照度とウエハ W 上での照

明光 I U の照度との間の比例係数が求められており、その比例係数が照明制御系 10 中の記憶部に記憶されている。そして、照明制御系 10 は、その比例係数、現在の開口絞りの状態、及びレーザビーム L B のパルスエネルギーより、ウエハ上での照明光 I U のパルスエネルギー P が上記の目標値となる
5 ように減光装置 18 での減光率（透過率）を設定する。なお、最終的な調整は、不図示のインテグレータセンサに基づいて高精度に行われる。

減光装置 18 を通過したレーザビーム L B は、変形照明機構 19 にて断面内での照度分布が所定の状態（円形、輪帯状、偏心した複数光源等）で、かつほぼ均一な分布になるように整形される。このように整形されたレーザビーム L B 2 は、集光レンズ 21 により一度集光された後、所定の開き角を持つ光束として四角形の枠状の透過部材よりなる遅延光学系 22 の入射出面 43 上の開口 44 に入射する。遅延光学系 22 は、それぞれレーザビーム L B に対して透過性の 4 個の直角プリズム 22 a, 22 c, 22 e, 22 g と、
10 4 個の四角柱状のロッド部材 22 b, 22 d, 22 f, 22 h とを四角形の枠状に接合して形成されており、かつ外周面がその入射出面 43 上の開口を除いて反射面とされている（詳細後述）。

遅延光学系 22 が本発明の光学部材に対応し、遅延光学系 22 内の光路が本発明の実質的に閉じたループ状の光路に対応し、開口 44 が窓部に対応している。そして、遅延光学系 22 内をそれぞれ 1 回、2 回、3 回、…だけ通過した光束は重ね合わされて、入射出面 43 上の開口からレーザビーム L B 2 の入射方向にほぼ直交する方向にレーザビーム L B 3 として射出される。
20 開口 44 を遅延光学系 22 の中心軸に垂直な面に投影した射影の面積は、遅延光学系 22 の四角柱状のロッド部材 22 b 等の断面積に対して例えば 1 / (10 × 10) 程度に設定される。これによって、入射するレーザビーム L B 2 を 100 個程度に分割（波面分割）した光束を再び重ね合わせたのと同様に照度分布が均一化される。更に、入射するレーザビーム L B 2 に比べて、

射出されるレーザビームLB3は時間的な可干渉性が大幅に低下している。

遅延光学系22より射出されたレーザビームLB3は、楔型の収差補正用プリズム23にて照明光学系の光軸に沿って進むように偏向された後、レンズ24を介してオプティカル・インテグレータ（ホモジナイザー）としての5 フライアイレンズ25に入射する。フライアイレンズ25が本発明の多光源形成光学系に対応している。フライアイレンズ25は、例えば10行×10列程度のレンズ素子を束ねて形成されているものとすると、レーザビームLB3はフライアイレンズ25によって100個程度に分割（波面分割）され10 て、分割された光束は重畠的に照明光IUとして射出される。即ち、遅延光学系22及びフライアイレンズ25によって実質的に100×100程度の波面分割が行われるため、フライアイレンズ25から射出される照明光IUの照度分布は十分に均一化されている。

フライアイレンズ25の射出面の近傍、即ちフライアイレンズ25の射出側焦点面であるレチクルRのパターン面に対する光学的なフーリエ変換面15 （瞳面）又はその近傍には、照明条件（通常照明、変形照明、小さいコーヒーレンズファクタ（小 σ 値）の照明等）及び σ 値を最終的に規定するための種々の開口絞りが形成された絞り切り換え部材27が、回転自在に配置されている。照明制御系10が駆動モータ26を介して絞り切り換え部材27を回転して、フライアイレンズ25の射出面に所定の開口絞りを配置することによって、照明条件及び σ 値が設定される。フライアイレンズ25から射出されて所定の開口絞りを通過した照明光IUは、リレーレンズ28、可動ブラインド29B、固定ブラインド29A、リレーレンズ31を経て照明系8から射出された後、コンデンサレンズ7を介してレチクルR上の照明領域を均一に照明する。

25 この場合、固定ブラインド29Aは、レチクルRのパターン面との共役面の近傍に配置されており、固定ブラインド29Aの開口によってレチクルR

上のスリット状の照明領域が規定されている。また、可動ブラインド 29B は固定ブラインド 29A に近接して配置されており、可動ブラインド 29B はウエハ上の各ショット領域への走査露光の開始時及び終了時に、不要なパターンがウエハ上に転写されるのを防止するために、固定ブラインド 29A の開口を遮蔽する役割を果たしている。主制御系 13 からの同期情報に応じて照明制御系 10 が駆動部 30 を介して可動ブラインド 29B の動作を制御する。

また、不図示であるが、例えば絞り切り換え部材 27 とリレーレンズ 28 との間にビームスプリッタが配置され、このビームスプリッタを介して取り込まれる照明光を光電変換するインテグレータセンサが設けられており、このインテグレータセンサの検出信号が照明制御系 10 に供給されている。このインテグレータセンサの検出信号とウエハ W 上での照明光 IU の照度との関係は予め計測されて、照明制御系 10 内の記憶部に記憶されており、照明制御系 10 は、ウエハ W 上での照明光 IU の照度が主制御系 13 によって設定された目標値になるように、レーザ電源 17 及び減光装置 18 等を制御する。

次に、本例の変形照明機構 19 の構成例につき図 3 及び図 4 を参照して詳細に説明する。図 3 (a) は図 2 の照明系 8 中の変形照明機構 19 を示し、この図 3 (a)において、図 2 の露光光源 9 から直線偏光状態で供給されて減光装置 18 を通過したレーザビーム LB は、1/4 波長板 32 により円偏光となって偏光ビームスプリッタ 33 に入射する。入射したレーザビーム LB の内で、偏光ビームスプリッタ 33 を透過した P 偏光の第 1 光束は、ミラー 35 を介して入射面が平面で射出面が外側に凹の円錐面とされた凹の円錐状光学部材 36A、及び入射面が外側に凸の円錐面とされ射出面が平面とされた凸の円錐状光学部材 36B を順次通過した後、偏光ビームスプリッタ 40 を透過する。一方、偏光ビームスプリッタ 33 で反射された S 偏光の第 2

光束は、入射面が平面で射出面が外側に凸の円錐面とされた凸の円錐状光学部材34A、及び入射面が外側に凸の円錐面で射出面が平面とされた凸の円錐状光学部材34Bを順次通過した後、ミラー39を経て偏光ビームスプリッタ40で反射される。偏光ビームスプリッタ40で同軸に合成された第1光束及び第2光束は、1/4波長板41を経て円偏光のレーザビームLB1となって、レンズ42A及び43Bよりなるビームエキスパンダ42A、42Bに入射する。なお、円錐状光学部材34A、34B及び36A、36Bとしては凸又は凹の円錐プリズム（アキシコン）を使用できる。

この場合、1/4波長板32、偏光ビームスプリッタ33、ミラー35、
10 及び2つの円錐状光学部材34A、36Aより固定ユニット37Aが構成され、2つの円錐状光学部材34B、36B、ミラー39、偏光ビームスプリッタ40、及び1/4波長板41より可動ユニット38Bが構成され、可動ユニット38Bは、不図示のスライド装置によって固定ユニット37Aに対してレーザビームLB1の光軸に沿って移動自在に構成されている。固定ユニット37A及び可動ユニット38Bがビーム整形系を構成している。また、
15 変形照明機構19からのレーザビームLB1の射出面は、図2のフライアイレンズ25の入射面と光学的に共役であり、ビームエキスパンダ42A、42Bの一方のレンズ42Bは不図示のスライド装置によって光軸に沿って移動自在に配置され、レンズ42Bを駆動することでレーザビームLB1の断面形状の伸縮倍率を制御できるように構成されている。それらのスライド装置の動作は図2の照明制御系10に制御されている。

ここで、固定ユニット37A、可動ユニット38B及びビームエキスパンダ42A、42Bの動作につき図3、図4を参照して説明する。

図3（a）において、可動ユニット38Bは固定ユニット37Aに対して最も近接した位置に移動しており、円錐状光学部材36Aの凹の射出面と円錐状光学部材36Bの凸の入射面とが密着している。従って、入射するレー

ザビームL Bの断面内での強度分布をガウス分布状であるとすると、偏光ビームスプリッタ3 3を透過した後に円錐状光学部材3 6 A, 3 6 Bをそのまま通過した第1光束I 1の断面内（断面に沿った方向をx方向とする）での強度分布は、図3（b）に示すように光軸を中心として凸のガウス分布状である。一方、円錐状光学部材3 4 A, 3 4 Bの間隔は、入射する第2光束I 2の強度分布の中心部と周辺部とが反転するように設定されており、円錐状光学部材3 4 A, 3 4 Bを通過した第2光束I 2の断面内での強度分布は、図3（c）に示すようにガウス分布を上下に反転したような分布となる。従って、偏光ビームスプリッタ4 0にて第1光束I 1、及び第2光束I 2を合成して得られるレーザビームL B 1の断面内での強度分布は、図3（d）に示すようにほぼ平坦となっている。そして、レーザビームL B 1は、ビームエキスパンダ4 2 A, 4 2 Bによって断面形状が可変倍率で拡大されたレーザビームL B 2に変換される。図3のレーザビームL B 2は通常照明で使用されるが、仮にコヒーレンスファクタである σ 値を小さくした小 σ 値の照明を行いたい場合には、ビームエキスパンダ4 2 A, 4 2 Bの間隔を狭くして（倍率を小さくして）、レーザビームL B 2の外径を小さくすればよい。即ち、ビームエキスパンダ4 2 A, 4 2 Bの間隔調整によってコヒーレンスファクタである σ 値（レチクル上でのレーザビームの開口角）を連続的に任意に変更可能となっている。

なお、エキシマレーザ光源から射出されるレーザビームの断面内での強度分布は、所定方向にガウス分布状であるとすると、それに直交する方向ではほぼ平坦とみなすことができる。従って、本例の円錐状光学部材3 4 A, 3 4 B, 3 6 A, 3 6 Bの代わりに、図3（a）の紙面に垂直な方向には屈折効果を持たない「楔型」、又はシリンドリカルレンズ状の光学部材を使用してもよい。

これに対して、図4（a）は、可動ユニット3 8 Bを固定ユニット3 7 A

から離れる方向に移動した配置を示し、この図4（a）において、円錐状光学部材36A、36Bを通過した第1光束I1の強度分布は、図4（b）に示すように、光軸付近の強度がほぼ0となった輪帶状のガウス分布状となる。また、円錐状光学部材34A、34Bを通過した第2光束I2の強度分布は、
5 図4（c）に示すように光軸付近の強度がほぼ0でガウス分布を上下に反転したような輪帶状分布となる。従って、偏光ビームスプリッタ40にて第1光束I1、及び第2光束I2を合成して得られるレーザビームLB1の強度分布は、図4（d）に示すようにほぼ平坦な輪帶状の分布となる。この場合、レーザビームLB1の外径は図3（a）の場合よりも拡大されているため、
10 レーザビームLB1の外径を小さくしたいときには、ビームエキスパンダ42A、42Bの間隔を狭くして、最終的に射出されるレーザビームLB2の倍率を小さくすればよい。図4のレーザビームLB2は、変形照明の一例である輪帶照明を行う場合に使用される。なお、可動ユニット38Bと固定ユニット37Aとの間隔調整のみ、あるいはその間隔調整とビームエキスパンダ42A、42Bの間隔調整との併用によって、輪帶照明の条件（例えば二次光源の外径、内径、輪帶比など）が連続的に、かつ任意に変更可能となっている。

更に、照明光学系の瞳面、例えばフライアイレンズ25の射出側焦点面上でその光軸から偏心した複数（例えば4個）の二次光源を用いる場合、即ち狭義の変形照明を行う場合にも、図4のレーザビームLB2を使用することができる。このように偏心した複数の二次光源を用いる場合にも、最終的な二次光源の分布は絞り切り換え部材27中の対応する開口絞りによって設定されるため、変形照明機構19から射出される段階では輪帶状の分布であっても差し支えない。また、輪帶状の分布にしておくことによって、その開口絞りの段階での光量損失が少なくなる利点がある。但し、変形照明機構19から射出される段階でも例えば偏心した4個の領域に均一に分布した照明光

を生成するために、円錐状光学部材 34A, 34B, 36A, 36B の代わりに、射出面又は入射面がそれぞれ四角錐状（ピラミッド型）の光学部材を使用するようにしてもよい。これによって光量損失を更に低減できる。

このとき、図 3 (d) 及び図 4 (d) の光強度分布を形成する円錐状光学部材と、その四角錐状光学部材とを照明条件に応じて交換可能に構成してもよい。また、図 3 (a) の構成に加えて、偏光ビームスプリッタ 33 に対してその入射側に、例えば変形照明用の回折光学素子を配置し、変形照明機構 19 に入射する段階で 4 つの領域に分布した照明光を生成するようにしてもよい。この場合、その変形照明用の回折光学素子を、通常及び輪帶照明時には別の光学素子（照明光を円形領域又は輪帶領域に分布させる回折光学素子など）に交換することが望ましい。

上記のように本例の変形照明機構 19 によれば、2 対の円錐状光学部材の間隔を制御することによって、平坦な円形の照度分布と平坦な輪帶状の照度分布とを切り換えることができるため、光量損失を極めて少なくて通常照明、及び変形照明（輪帶照明を含む）を行うことができる。更に、ビームエキスパンダ 42A, 42B によってレーザビーム LB2 の倍率を切り換えることによって、光量損失が殆ど無い状態で照明光学系の σ 値を切り換えることができる。

なお、図 3 (a) の構成では、変形照明機構 19 の射出側にビームエキスパンダ 42A, 42B を配置して、レーザビーム LB1 の光束径（倍率）の調整（特に拡大）を行うものとしているので、変形照明機構 19 を構成する各光学要素が小さくて済み、その全体を小型化できるという利点がある。なお、ビームエキスパンダ 42A, 42B の代わりに、例えばズーム光学系を設けて、レーザビーム LB1 の光束径の縮小をも可能としてもよい。また、変形照明機構 19 の射出側に配置されるビームエキスパンダ 42A, 42B (又は前述のズーム光学系) の代わりに、あるいはそれに追加して、変形照

明機構 19 の入射側にズーム光学系を設け、変形照明機構 19（円錐状光学部材 34A, 36A）に入射するレーザビーム LB の光束径（倍率）を連続的に変更可能としてもよい。この場合、ズーム光学系の調整と、固定ユニット 37A と可動ユニット 38Bとの間隔調整との併用によって、特にレーザビーム LB 1 の強度分布をその断面内で輪帶状に規定するときにその形成条件、即ち外径、内径、及び輪帶比（外径と内径との比）をそれぞれ独立に変更することが可能となる。

なお、本実施の形態では絞り切り換え部材 27 を設けて開口絞りの交換を行うものとしたが、変形照明機構 19 によって照明光学系の瞳面上でのレーザビームの強度分布が変更可能となっているため、特に絞り切り換え部材 27 を設けなくともよい。但し、この場合でも、照明光学系の瞳面上でレーザビームが通過可能な最大範囲、即ち照明光学系の開口数を規定する開口絞りを配置し、フレアの発生などを防止することが望ましい。また、前述した円錐状光学部材 34A, 34B, 36A, 36B を四角錐状光学部材に交換する機構が設けられていないときは、照明光学系の光軸から偏心した複数の二次光源を形成する狭義の変形照明を実現することができない。そこで、その狭義の変形照明を実現するときのみ、変形照明機構 19 によって照度分布が輪帶状に規定されるレーザビームを部分的に遮光又は減光する遮光板又は減光板（開口絞り）を、例えばフライアイレンズ 25 の射出面に近接して配置できるように構成しておくことが望ましい。

なお、変形照明機構 19 の代わりに、図 5 に示すような変形照明機構 19A を使用することもできる。図 5において、入射面 48 におけるレーザビーム LB の光軸に垂直な断面内の照度分布は、斜線を施した領域 50 で示すようにはほぼ正方形であるとする。この構成例においては、レーザビーム LB の光路を横切るように移動自在にスライド部材 46 が配置され、スライド部材 46 の 4 個の開口上に通常照明用の位相板 47A、輪帶照明用の位相板 47

B、偏心した4個の二次光源を用いる狭義の変形照明用の位相板47C、及び小 σ 値用の位相板47Dが設置されている。位相板47A～47DはそれぞれレーザビームLBに対して透過性の基板上に、位相型の微細な多数の回折格子を所定配列で形成したものである。

5 そして、図5の射出面49を図2のフライアイレンズ25の入射面と共に役であるとすると、スライド部材46を駆動して位相板47AをレーザビームLBの光路上に設置すると、位相板47Aを透過したレーザビームLB1の射出面49上での光軸に垂直な面内の照度分布は、斜線を施した領域51Aで示すように円形となる。また、位相板47B、47C、47Dをそれぞれ10 レーザビームLBの光路上に設置すると、射出面49におけるレーザビームLB1の照度分布はそれぞれ領域51B～51Dで示すように、輪帶状の領域、偏心した4個の領域、及び小さい円形領域となる。更に、位相板47A～47D内の回折格子の配置は、それぞれ領域51A～51D内の照度分布がほぼ均一になるように設定されている。これによって、入射するレーザビームLBの光量を殆ど損失することなく、通常照明と変形照明との切り換えを行うことができる。

なお、図5の構成に加えて、例えば前述した一対の円錐プリズム（アキシコン）を配置して、その輪帶状の領域、及び偏心した4個の領域を照明系の光軸を中心として放射方向に移動可能としてもよい。

20 前述の位相板47A～47Dは、複数の微小さな位相パターン又は微小な透過率パターンを、露光光に対してほぼ透明な基板に配設して構成されたものであり、その基板の材料としては例えば蛍石（CaF₂）、或いはフッ素がドープされた合成石英などが使用できる。このように本例では、回折光学素子（Diffracted Optical Element: 以下「DOE」という。）として位相板47A～47Dを用いるものとしたが、そのDOEとしては、位相板の他に、位相、透過率、又は屈折率などの違いにより光を回折させるものであれば、25

いかなるものでも使用できる。また、DOEを用いると、光学部品の個数を減少するために照明光学系の構成を簡略化できる上に、露光光の可干渉性を低減させてレチクル上での照度分布の均一性を向上できるといった効果が得られる。また、例えば一括露光（静止露光）と走査露光とを切り替えると
5 きに、レチクル上での照明領域の変更に応じてオプティカル・インテグレータを変更するという構成を採用してもよく、この変更に伴ってDOE（位相板等）を別のDOEと交換するようにしてもよい。更に、オプティカル・インテグレータ（ユニフォマイザ、又はホモジナイザ）としてDOEを用いる
10 こともできる。この場合、1個又は複数個のDOEのみで1段又は複数段のオプティカル・インテグレータを構成してもよく、1個のDOEとフライアイレンズ、又はロッドレンズ（内面反射型インテグレータ）とを組み合わせて複数段のオプティカル・インテグレータを構成してもよい。

図3（a）の変形照明機構19を通過したレーザビームLB1は、ビームエキスパンダ42A、42Bを介して図2の遅延光学系22に向かう。以下
15 では、その遅延光学系22の構成及び作用につき図6及び図7を参照して詳細に説明する。

図6（a）は、図2中の遅延光学系22を示す平面図であり、この図6（a）において、遅延光学系22は、入射するレーザビームLB2に対して透過性の一辺の幅Hの角柱状のロッド部材を四角形の枠状に配置して構成されており、その四角形の頂点に対応する部分の一つが、レーザビームLB2の光軸に対して45°で交差する反射面よりなる入射出面43とされ、この入射出面43の中央部（この中心がほぼ光軸に合致している）に、光軸方向に見て図6（c）に示すように幅hの正方形の透過部よりなる開口（窓部）
20 44が形成されている。そして、その四角形の他の3個の頂点に対応する部分がそれぞれ光軸に対して45°で交差する反射面M1、M2、M3とされ、遅延光学系22の他の外周部も全て反射面とされている。なお、その反射面
25

にはクロム等の金属膜の反射膜、又は多層の反射膜を形成しておけばよいが、例えば角柱状のロッド部材の側面などは全反射を利用してもよい。同様に、ミラー面M 1～M 3としても全反射面を利用してもよい。

また、遅延光学系2 2を構成する光学部材は、レーザビームLB 2（露光ビーム）に対する透過率が良好である必要があり、そのような光学部材としては、レーザビームLB 2がKrFエキシマレーザ（波長248 nm）であれば溶融石英ガラス又は合成石英ガラス等が使用でき、レーザビームLB 2がArFエキシマレーザ（波長193 nm）であれば合成石英ガラス又は萤石（CaF₂）等が使用でき、レーザビームLB 2がF₂レーザ（波長157 nm）であれば萤石、フッ素等の不純物をドープした合成石英ガラス、又はフッ化マグネシウム（MgF₂）等が使用でき、レーザビームLB 2の波長が150 nm程度以下であれば萤石又はフッ化マグネシウム等が使用できる。遅延光学系2 2としてそのように高透過率の材料を使用した場合でも、レーザビームLB 2がその内部を繰り返して通過する際に発熱する恐れがある。そこで、遅延光学系2 2を上下に挟むように、冷媒を循環させる冷却機構、ペルチェ素子等の吸熱機構、又はヒートパイプ等の排熱機構を設けて、遅延光学系2 2を冷却することが望ましい。

更に、遅延光学系2 2は四角形の枠状であるが、遅延光学系2 2は三角形状の枠状でもよく、5角形以上の枠状であってもよい。更に、遅延光学系2 2を円筒状の光学部材をリング状に形成した部材を使用してもよい。このようなリング状の部材を使用する場合には、レーザビームの入射又は射出を行うための窓部は、その部材の途中に斜めに形成した接合面中の反射部とすればよい。このように遅延光学系2 2として多角形の枠状の光学部材又はリング状の光学部材を使用することによって、遅延光学系2 2を大型化する場合でもその光学部材の使用量を減らすことができる。例えば遅延光学系2 2の光学材料として萤石又はフッ化マグネシウムのような高価な材料を使用する

場合でも、本例の遅延光学系 2 2 であれば使用量が少なくて済むため、製造コストを大幅に低下させることができる。また、フッ化マグネシウムのように大型の良好な結晶の製造が困難であるような場合であっても、本例の遅延光学系 2 2 であれば角柱状（又は円柱状）の複数の部材等を接合することによって、容易に製造できる利点もある。

なお、遅延光学系 2 2 は、屈折部材を使用することなく、レーザビームの光路を覆うように複数枚のミラーを組み合わせて構成してもよい。この場合には、内部に窒素ガス、ヘリウムガス等のように紫外域のレーザビームに対して高透過率のいわゆる不活性ガスをバージするか、又はその内部を真空にすることによって、高い透過率が得られる。そのように遅延光学系 2 2 を複数枚のミラーを組み合わせて構成する場合のミラーは、表面ミラー及び裏面ミラーの何れでもよい。更に、複数の反射部材（ミラー等）からなる中空部と屈折部材とで遅延光学系 2 2 を構成してもよい。即ち、遅延光学系 2 2 は、その一部、又は全部が中空であってもよい。

さて、遅延光学系 2 2 に入射するレーザビーム LB 2 は集光されているため、レーザビーム LB 2 は開き角が 0°（即ち、光軸に平行な光束）から所定の最大値までの種々の光束の集合体と考えることができる。なお、レーザビーム LB 2 の集光点が遅延光学系 2 2 の開口 4 4 上、又は遅延光学系 2 2 の内部にあると、強い熱エネルギーの集中によって遅延光学系 2 2 を構成する光学材料が損傷を受ける恐れがある。そこで、その光学材料を保護するため、レーザビーム LB 2 の集光点は実際には開口 4 4 の外側の気体（真空も有り得る）中に位置しており（図 2 参照）、その後で或る程度広がった光束が開口 4 4 に入射している。しかしながら、説明の便宜上、図 6 及び図 7 ではレーザビーム LB 2 は開口 4 4 上で集光するものとして表している。

遅延光学系 2 2 の開口 4 4 に入射したレーザビーム LB 2 は、順次ミラー M 1, M 2, M 3 によって閉じたループ状に反射されて入射出面 4 3 に向か

い、開口 4 4 内に収まる光束のみが開口 4 4 から外部に射出され、残りの光束は再び遅延光学系 2 2 内のループ状の光路を進行する。そして、そのループ状の光路を 2 回、3 回、…と通過する過程で開口 4 4 内に収まるようになった光束も開口 4 4 から外部に射出され、開口 4 4 から射出される複数の光束を重ね合わせた光束がレーザビーム LB 3 となる。この場合、入射するレーザビーム LB 2 を構成する各光束の遅延光学系 2 2 を通過する回数は、各光束の開き角に応じて定まっているため、以下では光束の開き角とこの光束が遅延光学系 2 2 を通過する回数との関係について説明する。また、本例での所定の光束の「開き角」とは、その光束が遅延光学系 2 2 内で光軸に対してなす角度であるものとする。

遅延光学系 2 2 は、台形状の光学部材 4 5 A, 4 5 B, 4 5 C 及び 4 5 D を順次ミラー M 1, M 2, M 3 及び入射出面 4 3 を介して接続した構成と等価であるため、説明の便宜上図 6 (b) に示すように、遅延光学系 2 2 をそれらの光学部材 4 5 A～4 5 D を直列に配置した光学系とみなす。

図 6 (b)において、遅延光学系 2 2 の入射出面 4 3 の開口 4 4 に入射するレーザビーム LB 2 の内で、開き角が θ の光束が遅延光学系 2 2 内の長さ L の光路を 1 回通過した後に開口 4 4 から射出されている。なお、図 6 (b) は分かり易くするために開き角 θ を大きくしてあるが、実際には遅延光学系 2 2 の幅を H とすると、図 6 (b) を光軸方向に圧縮して複数個繰り返して接続した図 6 (d) に示すように、開き角 θ は 0 から $\arctan(H/(2L))$ (rad) 程度までの光束が大部分となっている。そして、開き角 θ が 0 に近い光束 5 2 A はそのまま開口 4 4 から射出され、開き角 θ がほぼ $\arctan(H/(2L))$ の光束 5 2 B は、遅延光学系 2 2 中を 2 回通過した後に開口 4 4 から射出され、開き角 θ が $\arctan(H/(2L))$ より小さい光束 5 2 C, 5 2 D, … はそれぞれ遅延光学系 2 2 中を 3 回、4 回、… 通過して開口 4 4 から射出されている。即ち、光束 5 2 A～5 2 D の遅延光学系 2 2 内

の通過回数 n は 1 ~ 4 である。また、その通過回数（ループ回数） n は、開口 4 4 の幅 h 、開き角 θ 、光路の長さ L 、及び遅延光学系 2 2 の幅 H 等によって適宜設定できる値である。

本例では、遅延光学系 2 2 内を異なる回数だけ通過した光束間の可干渉性
5 は殆ど無くなるように遅延光学系 2 2 内の光路の長さ L が設定されている。
即ち、遅延光学系 2 2 のレーザビーム $L_B 2$ に対する屈折率を ϵ とすると、
遅延光学系 2 2 を 1 周する光路長 $\epsilon \cdot L$ は、レーザビーム $L_B 2$ のコヒーレンス長 C_L 以上に設定されている。この場合、レーザビーム $L_B 2$ の真空中
での中心波長を λ_0 、その波長の半值幅を $\Delta\lambda$ とすると、その可干渉距離 C_L
10 L はほぼ次のように表される。なお、半值幅 $\Delta\lambda$ は、レーザビーム $L_B 2$ の
時間的な可干渉性に応じて定まる値である。

$$\epsilon \cdot L \geq C_L = \lambda_0^2 / \Delta\lambda \quad \cdots (4)$$

但し、長さ L が長くなる程、遅延光学系 2 2 の製造が困難となるため、光路長 $\epsilon \cdot L$ はコヒーレンス長 C_L の 2 倍程度以下であることが望ましい。本
15 例のレーザビーム $L_B 2$ が狭帯化された KrF エキシマレーザ光である場合、
中心波長 λ_0 を 248 nm として、波長の半值幅 $\Delta\lambda$ を 0.4 pm 又は 0.
15 pm とすると、可干渉距離 C_L はそれぞれ 153 mm 又は 410 mm と
なる。従って、余裕を見て可干渉距離 C_L を 450 mm 程度として、遅延光
学系 2 2 の屈折率 ϵ を約 1.5 とすると、(4) 式を満たし、かつ光路長 ϵ
20 $\cdot L$ がコヒーレンス長 C_L の 2 倍程度以下とするためには、光路の長さ L は
300 mm 程度以上で 600 mm 程度以下であればよい。従って、遅延光学系 2 2 は 1 辺の幅が 75 mm 程度以上で 150 mm 程度以下の矩形の枠状で
あればよい。これによって遅延光学系 2 2 から射出されるレーザビーム L_B
3 の時間的な可干渉性は、入射するレーザビーム $L_B 2$ に比べて大幅に低下
する。なお、本例では遅延光学系 2 2 内を 3 回以上通過する光束も含まれて
25 いるため、必ずしも (4) 式が満たされていなくとも、即ち光路長 $\epsilon \cdot L$ が

コヒーレンス長CLより短い場合でも、或る程度の時間的な可干渉性の低下効果が得られる。

また、遅延光学系22の断面積は H^2 、開口44の面積は h^2 であるため、入射するレーザビームLB2は遅延光学系22を1回通過する際にほぼ h^2/H^2 (=(h/H)×(h/H))に分割(波面分割)されることになる。この波面分割数が大きい程、時間的な可干渉性が低下すると共に、照度分布の均一性が向上する。本例では一例として、遅延光学系22の幅Hは30~100mm程度に設定され、開口44の幅hは3~10mm程度に設定される。即ち、波面分割数である h^2/H^2 は1/100程度に設定されるが、波面分割数は1/50~1/200程度であることが望ましい。これによつて、遅延光学系22は、1段のオプティカル・インテグレータ(ユニフォマイザ、又はホモジナイザ)を兼用することができる。

次に、遅延光学系22に入射するレーザビームLB2を構成する各光束の開き角θ、遅延光学系22の光路の長さL、遅延光学系22の幅H、及び開口44の幅hと、その光束が遅延光学系22を通過する回数nとの関係につき詳細に説明する。まず、既に説明した図6(d)は、遅延光学系22内を複数回通過する光束を、遅延光学系22を複数個直列接続した光学系内を通過する光束で表すと共に、開口44の幅hをほぼ0とした場合に相当し、この場合には、開き角θがそれぞれ所定の値となる光束52A~52Dが遅延光学系22を通過する回数nが1~4となっている。

これに対して、図7(a)は、遅延光学系22を複数個直列接続した上で、開口44の幅hが所定の幅を持つ場合に相当し、この場合には、開き角θがそれぞれ所定の範囲内の値となる光束52A~52Fが遅延光学系22を通過する回数nが1~6となっている。また、図7(b)は、そのように遅延光学系22を通過する回数nが異なる複数の光束がレーザビームLB3として開口44から射出される様子を示している。このように遅延光学系22の

外周面による反射によって、所定の開き角の光束が遅延光学系22内を繰り返して通過して、波面分割が行われる。

以下では、コンピュータのシミュレーションによって、遅延光学系22の光路の長さLが300mm、遅延光学系22の幅Hが55mm、開口44の幅hが5mm、入射するレーザビームLB2の開き角θの最大値θ_{max}が($L \cdot \tan \theta_{max} = H$) を満たす角度、即ち10.39°である場合について、開き角θに応じて遅延光学系22を通過する回数nがどのようになるかを求めた結果を示す。ここでは、通過する回数nから1を引いた数N(=n-1)を「繰り返し回数」と呼び、表1では、その繰り返し回数Nが0, 1, 2, … 29, 30となる場合について、その光束の開き角θ(°)、その光束が遅延光学系22を1回通過したときの位置の光軸からの間隔(以下「ビーム位置」という)x(mm)、及びその光束が遅延光学系22から射出されるまでに通過する光路の全長ΣL(mm)を示す。ビーム位置xは、図6(d)の通過回数nが1の直線上において各光束が横切る位置に対応している。表1において、開き角θ=0°で入射した光束は光路の全長ΣL=300mm、N=0で射出され、開き角θ≈5.24°で入射した光束は光路の全長ΣL=600mm、N=1で射出されている。

《表1》

	N	θ	位置x	ΣL	N	θ	位置x	ΣL
20	0	0	0	300	16	0.328254	1.7130208	5100
	1	5.237477	27.5	600	17	0.308945	1.6122549	5400
	2	2.624221	13.704167	900	18	0.291782	1.5226852	5700
	3	1.750160	9.1361111	1200	19	0.276425	1.4425439	6000
	4	1.312799	6.8520833	1500	20	0.262604	1.3704167	6300
	5	1.050305	5.4816667	1800	21	0.250099	1.3051587	6600
25	6	0.875284	4.5880558	2100	22	0.238731	1.2458333	6900

	7	0.750259	3.9154762	2400		23	0.228352	1.1916667	7200
	8	0.656486	3.4260417	2700		24	0.218837	1.1420139	7500
	9	0.583548	3.0453704	3000		25	0.210084	1.0963333	7800
	10	0.525197	2.7408333	3300		26	0.202004	1.0541667	8100
5	11	0.477454	2.4916667	3600		27	0.194522	1.0151235	8400
	12	0.437668	2.2840278	3900		28	0.187575	0.978869	8700
	13	0.404002	2.1083333	4200		29	0.181107	0.9451149	9000
	14	0.375146	1.9577381	4500		30	0.175070	0.9136111	9300
	15	0.350137	1.8272222	4800					

10

表1のみでは、幅hの開口44からどのような開き角θの光束がどのような繰り返し回数N (=n-1)で射出されるのかが分からぬ。そこで、開き角θの光束が遅延光学系22中を何回通過すると、最終的にその開口44から射出されるかを求めるための計算結果を表2に示す。

15 表2においては、遅延光学系22中を1回通過した光束のビーム位置x (mm)と、その光束が遅延光学系22の光軸(中心)に戻るまでに通過する光軸に沿った光路の長さy (mm)との組み合わせを縦軸に取り、光束が遅延光学系22を通過する回数nを横軸に取り、縦軸の値(x, y)と横軸の値nとに対応する開き角θ(°)の計算結果が示されている。この場合、
20 通過する光路の長さyが遅延光学系22の光路の長さL(ここでは300m m)の整数倍に近く、且つ遅延光学系22の外周面で反射してから光軸の近傍で幅hの領域を通過する光束のみが、幅hの開口44から射出されることとなる。この条件は、表2において、光路の長さyが300mmの整数倍となっている部分を中心として、ビーム位置xが±h/2(ここでは±2.5 mm)となっている部分の開き角θの光束が、その開口44から射出されることを意味している。

《表 2》

x	y	n=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
27.5	272.7273	0.55	B1.10	1.65	C2.20	2.75	3.30	3.85	4.40	4.95	5.50	6.05	
27	277.7778	0.54	B1.08	1.62	C2.16	2.70	3.24	3.78	4.32	4.86	5.40	5.94	
5	26.5	283.0189	0.53	B1.06	1.59	C2.12	2.65	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83
26	288.4615	0.52	B1.04	1.56	C2.08	2.60	3.12	3.64	4.16	4.68	5.20	5.72	
25.5	294.1176	0.51	B1.02	1.53	C2.04	2.55	3.06	3.57	4.08	4.59	5.10	5.61	
25	300	0.50	B1.00	C1.50	C2.02	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	
24.5	306.1224	0.49	B0.98	C1.47	1.96	2.45	2.94	3.43	3.92	4.41	4.90	5.39	
10	24	312.5	0.48	B0.96	C1.44	1.92	2.40	2.88	3.36	3.84	4.32	4.80	5.28
23.5	319.1489	0.47	B0.94	C1.41	1.88	2.35	2.82	3.29	3.76	4.23	4.70	5.17	
23	326.087	0.46	B0.92	C1.38	1.84	2.30	2.76	3.22	3.68	4.14	4.60	5.06	
22.5	333.3333	0.45	B0.90	C1.35	1.80	B2.25	2.70	3.15	3.60	4.05	4.50	4.95	
22	340.9091	0.44	0.88	C1.32	1.76	B2.20	2.64	3.08	3.52	3.96	4.40	4.84	
15	21.5	348.8372	0.43	0.86	C1.29	1.72	B2.15	2.58	3.01	3.44	3.87	4.30	4.73
21	357.1429	0.42	0.84	C1.26	1.68	B2.10	2.52	2.94	3.36	3.78	4.20	4.62	
20.5	365.8537	0.41	0.82	C1.23	1.64	B2.05	2.46	2.87	3.28	3.69	4.10	4.51	
20	375	0.40	C0.80	C1.20	1.60	B2.00	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00	4.40	
19.5	384.6154	0.39	C0.78	1.17	1.56	B1.95	2.34	2.73	3.12	3.51	3.90	4.29	
20	19	394.7368	0.38	C0.76	1.14	1.52	B1.90	2.28	2.66	3.04	3.42	3.80	4.18
18.5	405.4054	0.37	C0.74	B1.11	1.48	B1.85	2.22	2.59	2.96	3.33	3.70	4.07	
18	416.6667	0.36	C0.72	B1.08	1.44	1.80	2.16	2.52	2.88	3.24	3.60	3.96	
17.5	428.5714	0.35	C0.70	B1.05	1.40	1.75	2.10	2.45	2.80	3.15	3.50	3.85	
17	441.1765	0.34	C0.68	B1.02	1.36	1.70	2.04	2.38	2.72	3.06	3.40	3.74	
25	16.5	454.5455	0.33	C0.66	B0.99	1.32	1.65	1.98	2.31	2.64	2.97	3.30	3.63
16	468.75	0.32	C0.64	B0.96	1.28	1.60	1.92	2.24	2.56	2.88	3.20	3.52	

	15.5	483.871	0.31C0.62B0.93	1.24 1.55 1.86 2.17 2.48 2.79 3.10 3.41
	15	500	0.30C0.60B0.90B1.20C1.50	1.80 2.10 2.40 2.70 3.00 3.30
	14.5	517.2414	0.29 0.58 0.87B1.16C1.45	1.74 2.03 2.32 2.61 2.90 3.19
	14	535.7143	0.28 0.56 0.84B1.12C1.40	1.68 1.96 2.24 2.52 2.80 2.08
5	13.5	555.5556	0.27 0.54 0.81B1.08C1.35	1.62 1.89 2.16 2.43 2.70 2.97
	13	576.9231	0.26 0.52C0.78B1.04C1.30	1.56 1.82 2.08 2.34 2.60 2.86
	12.5	600	0.25 0.50C0.75B1.00	1.25 1.50 1.75 2.00 2.25 2.50 2.75
	12	625	0.24 0.48C0.72B0.96	1.20 1.44 1.68 1.92 2.16 2.40 2.64
	11.5	652.1739	0.23 0.46C0.69B0.92	1.15 1.38 1.61 1.84 2.07 2.30 2.53
10	11	681.8182	0.22 0.44C0.66B0.88	1.10 1.32 1.54 1.76 1.98 2.20 2.42
	10.5	714.2857	0.21 0.42C0.63B0.84B1.05	1.26 1.47 1.68 1.89 2.10 2.31
	10	750	0.20 0.40C0.60 0.80B1.00	1.20 1.40 1.60 1.80 2.00 2.20
	9.5	789.4737	0.19 0.38C0.57 0.76B0.95	1.14 1.33 1.52 1.71 1.90 2.09
	9	833.3333	0.18 0.36C0.54C0.72B0.90	1.08 1.26 1.44 1.62 1.80 1.98
15	8.5	882.3529	0.17 0.34 0.51C0.68B0.85	1.02 1.19 1.36 1.53 1.70 1.87
	8	937.5	0.16 0.32 0.48C0.64B0.80	0.96 1.12 1.28 1.44 1.60 1.76
	7.5	1000	0.15 0.30 0.45C0.60B0.75B0.90	1.05 1.20 1.35 1.50 1.65
	7	1071.429	0.14 0.28 0.42C0.56 0.70B0.84	0.98 1.12 1.26 1.40 1.54
	6.5	1153.846	0.13 0.26 0.39C0.52 0.65B0.78	0.91 1.04 1.17 1.30 1.43
20	6	1250	0.12 0.24 0.36C0.48C0.60B0.72B0.84	0.96 1.08 1.20 1.32
	5.5	1363.636	0.11 0.22 0.33 0.44C0.55 0.66B0.77	0.88 0.99 1.10 1.21
	5	1500	0.10 0.20 0.30 0.40C0.50C0.60B0.70B0.80	0.90 1.00 1.10
	4.5	1666.667	0.09 0.18 0.27 0.36 0.45C0.54 0.63B0.72	0.81 0.90 0.99
	4	1875	0.08 0.16 0.24 0.32 0.40C0.48C0.56B0.64B0.72	0.80 0.88
25	3.5	2142.857	0.07 0.14 0.21 0.28 0.35C0.42C0.49 0.56B0.63	0.70 0.77
	3	2500	0.06 0.12 0.18 0.24 0.30 0.36C0.42C0.48B0.54B0.60	0.66

2.5	3000	A0.05 0.10 0.15 0.20 0.25 0.30 0.35 C0.40 0.45 B0.50 0.55
2	3750	A0.04 0.08 0.12 0.18 0.20 0.24 0.28 0.32 0.36 0.40 0.44
1.5	5000	A0.03 0.06 0.09 0.12 0.15 0.18 0.21 0.24 0.27 0.30 0.33
1	7500	A0.02 0.04 0.06 0.08 0.10 0.12 0.14 0.16 0.18 0.20 0.22
5	0.5	15000 A0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.11
0	300	A0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

表2において、各開き角 θ 毎に上記の条件を満たしている部分を全て選択することによって、どのような光束が遅延光学系22内を何回通過してから幅hの開口44から射出されるか求めることができる。遅延光学系22の幅Hが55mmの場合には、直前に符号A又はBを付した開き角 θ の光束が開口44から射出される。また、参考のために、遅延光学系22の幅を1.5×H（即ち $1.5 \times 55 = 82.5$ （mm））としたときの条件も求めてみた所、表2において、符号A又はCを付した開き角 θ の光束が対応する通過回数nで開口44から射出されることが分かった。即ち、符号Aが付された開き角 θ の光束は、異なる幅の遅延光学系22について共通である。

次に、表2の結果に基づいて、波面分割数についてのシミュレーションを行って得られた結果を表3～表5に示す。波面分割数は、光路の長さLと、入射するレーザビームの開き角の分布と、開口44の幅hと遅延光学系22の幅Hとの比の値h/Hとによって決定される。その開き角の分布は、遅延光学系22を一度通過したレーザビームが遅延光学系22の断面内で通過する位置の分布に対応させることができる。そこで、遅延光学系22の断面形状を横方向（これをX方向とする）に $1.5 \times H (= 82.5\text{ mm})$ で、縦方向（これをY方向とする）にH (= 55mm)であるとして、開口44の幅もX方向に $1.5 \times h (= 7.5\text{ mm})$ でY方向にh (= 5mm)であるとして、座標(X, Y)の原点を遅延光学系22の断面の中心に取る。そし

て、遅延光学系 2 2 の断面を開口 4 4 の幅を単位として X 方向及び Y 方向にそれぞれ 1 1 個に分割する。この分割結果を遅延光学系 2 2 の断面の第 1 象限 ($0 < X < 1.5 \cdot H/2$, $0 < Y < H/2$) 内で示したのが表 3 及び表 4 である。

5 即ち、表 3においては、遅延光学系 2 2 の断面の第 1 象限内の $0 < X < 1.5 \cdot H/4$ の領域が、開口 4 4 の部分 (X 方向の幅 $1.5 \cdot h/2$ で Y 方向の幅 $h/2$ の部分) を除いて、X 方向及び Y 方向にそれぞれ開口 4 4 の幅を単位として分割されている。また、表 4においては、その第 1 象限内の $1.5 \cdot H/4 < X < 1.5 \cdot H/2$ の領域が、X 方向及び Y 方向にそれぞれ開口 4 4 の幅を単位として分割されている。そして、表 3 及び表 4 中の各分割された領域は、それぞれ X 方向、Y 方向に 6 個の格子点に分割され、遅延光学系 2 2 を 1 回通過して上記の各格子点を通過した光束が、それぞれ開口 4 4 から射出されるまでに遅延光学系 2 2 を通過する合計の回数 n の値が示されている。例えば表 3 の $0 < X < 1.5 \cdot h/2$, $0 < Y < h/2$ の領域は開口 4 4 内の領域であるため、その領域内の各格子点を通過したレーザビームが遅延光学系 2 2 を通過する回数 n はそれぞれ 1 となっている。また、表 3 の $0 < X < 1.5 \cdot h/2$, $9h/2 < Y < H/2$ の領域内の各格子点を通過したレーザビームが遅延光学系 2 2 を通過する回数 n はそれぞれ 2 となっている。

20 《表 3》

	X=0	$1.5 \cdot h/2$	$1.5 \cdot H/4$				
	$H/2$						
	2 2 2 2 2 2	8 14 6 10 4 4	4 4 6 6 6 6				
	2 2 2 2 2 2	8 14 6 10 4 4	4 4 6 6 6 6				
	2 2 2 2 2 2	8 14 6 10 4 4	4 4 6 6 6 6				
25	2 2 2 2 2 2	8 14 6 10 4 4	4 4 6 6 6 6				

	2 2 2 2 2 2	8 14 6 10 4 4	4 4 6 6 6 6
	2 2 2 2 2 2	8 14 6 10 4 4	4 4 6 6 6 6
9h/2			
5	5 5 5 5 5 5	40 35 30 5 20 20	20 20 15 15 15 15
	5 5 5 5 5 5	40 35 30 5 20 20	20 20 15 15 15 15
	5 5 5 5 5 5	40 35 30 5 20 20	20 20 15 15 15 15
	5 5 5 5 5 5	40 35 30 5 20 20	20 20 15 15 15 15
	3 3 3 3 3 3	24 21 6 15 12 12	12 12 3 3 3 3
	3 3 3 3 3 3	24 21 6 15 12 12	12 12 3 3 3 3
10			
	3 3 3 3 3 3	24 21 6 15 12 12	12 12 3 3 3 3
	3 3 3 3 3 3	24 21 6 15 12 12	12 12 3 3 3 3
	3 3 3 3 3 3	24 21 6 15 12 12	12 12 3 3 3 3
	4 4 4 4 4 4	8 28 12 20 4 4	4 4 12 12 12 12
15	4 4 4 4 4 4	8 28 12 20 4 4	4 4 12 12 12 12
	4 4 4 4 4 4	8 28 12 20 4 4	4 4 12 12 12 12
20	4 4 4 4 4 4	8 28 12 20 4 4	4 4 12 12 12 12
	4 4 4 4 4 4	8 28 12 20 4 4	4 4 12 12 12 12
	4 4 4 4 4 4	8 28 12 20 4 4	4 4 12 12 12 12
	5 5 5 5 5 5	40 35 30 5 20 20	20 20 15 15 15 15
	5 5 5 5 5 5	40 35 30 5 20 20	20 20 15 15 15 15
	5 5 5 5 5 5	40 35 30 5 20 20	20 20 15 15 15 15
25			
	5 5 5 5 5 5	40 35 30 5 20 20	20 20 15 15 15 15
	6 6 6 6 6 6	24 42 6 30 12 12	12 12 6 6 6 6

39

		7 7 7 7 7 7	56 7 42 35 28 28	28 28 21 21 21 21
		8 8 8 8 8 8	8 56 24 40 8 8	8 8 24 24 24 24
		9 9 9 9 9 9	72 63 18 45 36 36	36 36 9 9 9 9
		10 10 10 10 10 10	40 70 30 10 20 20	20 20 30 30 30 30
5	h/2			
		1 1 1 1 1 1	8 7 6 5 4 4	4 4 3 3 3 3
		1 1 1 1 1 1	8 7 6 5 4 4	4 4 3 3 3 3
		1 1 1 1 1 1	8 7 6 5 4 4	4 4 3 3 3 3
		1 1 1 1 1 1	8 7 6 5 4 4	4 4 3 3 3 3
10		1 1 1 1 1 1	8 7 6 5 4 4	4 4 3 3 3 3
		1 1 1 1 1 1	8 7 6 5 4 4	4 4 3 3 3 3
Y=0				

《表4》

X=1.5·H/4

1.5·H/2

	H/2	10 10 10 2 2 2	2 2 2 6 6 6	6 6 6 4 4 4
		10 10 10 2 2 2	2 2 2 6 6 6	6 6 6 4 4 4
		10 10 10 2 2 2	2 2 2 6 6 6	6 6 6 4 4 4
		10 10 10 2 2 2	2 2 2 6 6 6	6 6 6 4 4 4
20		10 10 10 2 2 2	2 2 2 6 6 6	6 6 6 4 4 4
		10 10 10 2 2 2	2 2 2 6 6 6	6 6 6 4 4 4
25	9h/2	5 5 5 10 10 10	10 10 10 15 15 15	15 15 15 20 20 20
		5 5 5 10 10 10	10 10 10 15 15 15	15 15 15 20 20 20
		5 5 5 10 10 10	10 10 10 15 15 15	15 15 15 20 20 20
		5 5 5 10 10 10	10 10 10 15 15 15	15 15 15 20 20 20

	15 15 15 6 6 6	6 6 6 3 3 3	3 3 3 12 12 12
	15 15 15 6 6 6	6 6 6 3 3 3	3 3 3 12 12 12
5	15 15 15 6 6 6	6 6 6 3 3 3	3 3 3 12 12 12
	15 15 15 6 6 6	6 6 6 3 3 3	3 3 3 12 12 12
	15 15 15 6 6 6	6 6 6 3 3 3	3 3 3 12 12 12
	20 20 20 4 4 4	4 4 4 12 12 12	12 12 12 4 4 4
	20 20 20 4 4 4	4 4 4 12 12 12	12 12 12 4 4 4
	20 20 20 4 4 4	4 4 4 12 12 12	12 12 12 4 4 4
10	20 20 20 4 4 4	4 4 4 12 12 12	12 12 12 4 4 4
	20 20 20 4 4 4	4 4 4 12 12 12	12 12 12 4 4 4
	20 20 20 4 4 4	4 4 4 12 12 12	12 12 12 4 4 4
	5 5 5 10 10 10	10 10 10 15 15 15	15 15 15 20 20 20
	5 5 5 10 10 10	10 10 10 15 15 15	15 15 15 20 20 20
	5 5 5 10 10 10	10 10 10 15 15 15	15 15 15 20 20 20
15	5 5 5 10 10 10	10 10 10 15 15 15	15 15 15 20 20 20
	30 30 30 6 6 6	6 6 6 6 6 6	6 6 6 12 12 12
	35 35 35 14 14 14	14 14 14 21 21 21	21 21 21 28 28 28
	40 40 40 8 8 8	8 8 8 24 24 24	24 24 24 8 8 8
	45 45 45 18 18 18	18 18 18 9 9 9	9 9 9 36 36 36
	10 10 10 10 10 10	10 10 10 30 30 30	30 30 30 20 20 20
20	5 5 5 2 2 2	2 2 2 3 3 3	3 3 3 4 4 4
	5 5 5 2 2 2	2 2 2 3 3 3	3 3 3 4 4 4
25	5 5 5 2 2 2	2 2 2 3 3 3	3 3 3 4 4 4
	5 5 5 2 2 2	2 2 2 3 3 3	3 3 3 4 4 4

		5 5 5 2 2 2	2 2 2 3 3 3	3 3 3 4 4 4
		5 5 5 2 2 2	2 2 2 3 3 3	3 3 3 4 4 4
		5 5 5 2 2 2	2 2 2 3 3 3	3 3 3 4 4 4
		5 5 5 2 2 2	2 2 2 3 3 3	3 3 3 4 4 4

5 Y=0

表3及び表4において、各格子点を通過するレーザビームの内で遅延光学系22内を通過する回数nの値が異なる光束同士は、光路長が可干渉距離以上異なるために互いに殆ど干渉しないとみなすことができる。即ち、通過回数nが異なる光束は互いに実質的にインコヒーレントである。そこで、表3及び表4に基づいて、互いに実質的にインコヒーレントな光束の数を表5にまとめた。

表5において、nは各格子点を通過する光束が遅延光学系22を通過する全体の回数、NAは通過回数がnの光束（格子点）の数、NBはその光束の数NAの全体の光束数に対する割合（%）を表している。表5より、互いに実質的にインコヒーレントな光束が22組あることが分かり、これは遅延光学系22に入射するレーザビームLB2の時間的な可干渉性は十分に低減されることを意味している。

《表5》

	n	NA	NB (%)	n	NA	NB (%)	n	NA	NB (%)
20	1	36	3	34	0	0	67	0	0
	2	108	8	35	12	1	68	0	0
	3	140	11	36	7	1	69	0	0
	4	198	15	37	0	0	70	1	0
	5	104	8	38	0	0	71	0	0
25	6	130	10	39	0	0	72	1	0
	7	13	1	40	13	1	73	0	0

	8	38	3	41	0	0	74	0	0
	9	16	1	42	2	0	75	0	0
	10	88	7	43	0	0	76	0	0
	11	0	0	44	0	0	77	0	0
5	12	108	8	45	4	0	78	0	0
	13	0	0	46	0	0	79	0	0
	14	12	1	47	0	0	80	0	0
	15	100	8	48	0	0	81	0	0
	16	0	0	49	0	0	82	0	0
	17	0	0	50	0	0	83	0	0
10	18	7	1	51	0	0	84	0	0
	19	0	0	52	0	0	85	0	0
	20	87	7	53	0	0	86	0	0
	21	15	1	54	0	0	87	0	0
	22	0	0	55	0	0	88	0	0
	23	0	0	56	2	0	89	0	0
15	24	17	1	57	0	0	90	0	0
	25	0	0	58	0	0	91	0	0
	26	0	0	59	0	0	92	0	0
	27	0	0	60	0	0	93	0	0
	28	13	1	61	0	0	94	0	0
	29	0	0	62	0	0	95	0	0
20	30	23	2	63	1	0	96	0	0
	31	0	0	64	0	0	97	0	0
	32	0	0	65	0	0	98	0	0
	33	0	0	66	0	0	99	0	0

		100	0	0
--	--	-----	---	---

次に、図2（図6）の遅延光学系22においては、入射出面43に形成された開口44が窓部とされているが、この場合には入射出面43における反射又は全反射によって入射するレーザビームLB2、及び射出されるレーザビームLB3の光量損失が生じる恐れがある。そこで、入射するレーザビーム及び射出されるレーザビームの光量損失を低下させるための実施の形態につき図8を参照して説明する。

まず図8（a）は、図2の遅延光学系22の外観を示す斜視図であり、この図8（a）において、遅延光学系22の一部である直角プリズム22aの斜面である入射出面43にレーザビームLB2が入射し、その入射出面43からレーザビームLB3が射出されている。この場合、図8（b）のように、入射出面43を反射面として、その一部に矩形の開口44を設けたのが図2の方式である。この方式では、光軸に対して45°で傾斜する開口44が入射窓部と射出窓部とを兼用しており、射出されるレーザビームLB3は光軸に対して傾いてしまう。そこで、図2の例では収差補正用プリズム23によってレーザビームLB3の波面を光軸に対してほぼ垂直に合わせている。また、本例のように走査露光型の場合には、レチクルRの照明領域に形成される最もコントラストの高い干渉縞（スペックル）のピッチ方向をレチクルRの走査方向に対して45°程度で交差させておくことが望ましい。これによって、走査方向には平均化効果によって照度むらの影響が軽減されるからである。このように、レチクルR上の干渉縞をピッチ方向を走査方向に対して45°程度で交差させるためには、図2において、遅延光学系22を開口44の法線を軸として所定角度回転させると共に、収差補正用プリズム23も必要に応じて回転させればよい。

一方、図8（c）の例は、直角プリズム22aの入射出面43上に小型の

直角プリズム 4 4 A を固定し、この直角プリズム 4 4 A の直交する 2 面の一方をレーザビーム L B 2 の入射窓部として、他方をレーザビーム L B 3 の射出窓部としている。この方式では、入射するレーザビーム L B 2 及び射出されるレーザビーム L B 3 の光量損失が少ない利点がある。また、図 8 (d) 5 の例は、直角プリズム 2 2 a の入射出面 4 3 上に小型の直角プリズム型の凹部 4 4 B を形成し、この凹部 4 4 B の直交する 2 面の一方をレーザビーム L B 2 の入射窓部として、他方をレーザビーム L B 3 の射出窓部としている。この方式も、レーザビーム L B 2, L B 3 の光量損失が少ない利点がある。図 8 (c) 及び図 8 (d) の例では、入射出面 4 3 を全反射面として利用することによって、遅延光学系 2 2 内を繰り返して通過するレーザビームの光 10 量損失を更に少なくできる。

次に、図 2 の遅延光学系 2 2 の変形例につき図 9 を参照して説明する。

図 9 (a) の遅延光学系 2 2 A は、2 つの直角プリズムと 2 つの角柱（円柱も可）状のロッド部材とをリング状に密接させて配置して構成されており、 15 小スペース化につながる利点がある。また、図 9 (b) はリング状の遅延光学系 2 2 B の角柱状の部材の中央部に斜めに接合面 5 3 を設け、この入射出面としての接合面 5 3 の中央部に反射部を形成しておき、この反射部をレーザビーム L B 2 の入射窓部として、その反射部の裏面をレーザビーム L B 3 の射出窓部として使用するものである。この構成例は、レーザビーム L B 2, 20 L B 3 を折り曲げるスペースが無いときに有効である。

更に図 9 (c) は、遅延光学系 2 2 を構成する直角プリズム 2 2 a の入射出面 4 3 の中央部に窓部としての長方形の開口 4 4 C を形成した例を示し、図 9 (d) は、直角プリズム 2 2 a の入射出面 4 3 の中心からずれた（偏心した）位置に窓部としてほぼ正方形の開口 4 4 D を形成した例を示す。図 9 25 (c) 及び図 9 (d) の例では、入射したレーザビームの反射条件が上下方向と左右方向とで異なった条件になるため、インコヒーレントな光束の数を

増やすことができ、時間的な可干渉性を更に低減することができる。特に図9（d）の例では入射したレーザビームの反射条件が上下の2面及び左右の2面の計4面で異なるため、時間的な可干渉性の低減効果がより高くなる。

また、図9（e）は、遅延光学系を構成する一部の直角プリズム54の斜面43Aの全面をハーフミラーとして、斜面43Aを全体として入射窓部及び射出窓部として使用する例である。この例では、入射するレーザビームは遅延光学系を3回通過すると大部分が射出されてしまうため、インコヒーレントな光束の数は少ないが、簡単な構成で時間的な可干渉性を低減できる利点がある。また、図9（f）は、遅延光学系の入射出面43に対してレーザビームをテレセントリック性の傾きが無いように入射させた例であるが、図9（g）はその入射出面43に対してレーザビームを所定のテレセントリック性の傾きを持たせて入射させた例である。そのように所定のテレセントリック性の傾きを持つレーザビームを遅延光学系に入射させることによって、図9（d）の例のように開口44Dの位置を偏心させた場合と同様に、遅延光学系内の反射条件を4面で互いに異ならせることができ、時間的な可干渉性を大きく低減できる。

以上のように本例では、KrFエキシマレーザを用いた露光方法について説明したが、今後より短波長のArFエキシマレーザ（193 nm）、F₂レーザ（157 nm）、Ar₂レーザ光（波長126 nm）、YAGレーザの高調波、又は半導体レーザの高調波等の可干渉性を有するレーザ光を露光ビームとして使用する場合にも遅延光学系22（又は22A、22B等）は有効である。しかしながら、そのように短波長のレーザビームを使用する場合に、遅延光学系22がエネルギー集中による損傷を受けたり、雰囲気中に混入する微量な有機物質等とそのレーザビームとの化学反応によって形成される曇り物質が遅延光学系22の入射出面43に付着する恐れがある。そこで、遅延光学系22の直角プリズム22a（入射出面43）を交換可能とし

たり、入射出面43の開口44を覆うように曇り物質の付着を防止するための透明なカバーを設け、このカバーの内部にレーザビームに対して高透過率で清浄な気体をパージするようにしてもよい。また、有機物等の発生を防止するためには、遅延光学系22を構成する複数の光学部材（ロッド部材など）
5 を接着剤又は充填剤などを用いることなく、押え環などによって一体的に保持することが望ましい。

また、遅延光学系22を構成するロッド部材の接続部（折り曲げ部）では、内面反射効果が小さくなり一部の光束の損失が生じる可能性がある。この光量損失は、入射するレーザビームLB2の開き角の最大角が大きい程多くなるので、開き角が大きい光束がロッド部材の内面で反射する位置に折り曲げ部が無いように遅延光学系22を設計することも、レーザビームの利用効率を高めるための重要な要因である。
10

更に、上記の実施の形態の遅延光学系22を導入しても干渉縞が僅かにレチクル上に残ってしまう場合には、遅延光学系22に入射するレーザビームLB2の光軸に対する傾斜角を周期的に振動させるようにしてもよい。
15

また、上記の実施の形態では、射出側のオプティカル・インテグレータとしてフライアイレンズ25が使用されているが、フライアイレンズ25の代わりにロッド・インテグレータを使用してもよい。

また、図2の構成例では、変形照明機構19の後に遅延光学系22が配置されているが、変形照明機構19の前に遅延光学系22を配置するようにしてよい。更に、レーザビームLBの強度分布が比較的平坦であるような場合には、変形照明機構19を簡素化してもよい。
20

次に、本発明の第2の実施の形態につき図10～図16を参照して説明する。本例も、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置で露光を行う場合に本発明を適用したものであり、図10及び図11において、図1～図25に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。

図10は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図10において、露光光源9からパルス発光される露光用の照明光（露光ビーム）としての狭帯化された波長を有するレーザビームLBが照明系8に入射している。本例の露光光源9としては、図1の実施の形態と同様に発振波長幅が一例として5 0.1～1pm程度に狭帯化されたKrFエキシマレーザ光源（発振波長248nm）が使用されているが、それ以外にArFエキシマレーザ（波長193nm）、F₂レーザ（波長157nm）、又はYAGレーザの高調波発生装置等の可干渉性の高いレーザビーム等を発生する露光光源を使用する場合にも本発明が適用される。更には、露光光源9として、X線源等も使用で10 きる。なお、これらの光源はパルス光源である。

また、照明系8は、図1の実施の形態と同様に入射する光束の断面形状を所望の形状に変換する光学系と、多光源形成光学系又はオプティカル・インテグレータ（ユニフォマイザ又はホモジナイザ）としての折り曲げ型ロッド状光学部材と、リレーレンズ系と、視野絞り（レチクルブラインド）とを備えている。そして、入射するレーザビームLBは照明系8によって所定の開口数を有すると共に、照度分布が均一化された照明光IUに変換され、照明光IUはコンデンサレンズ系7を経てレチクルRのパターン面を細長い矩形の照明領域で照明する。

また、本例の主制御系13には、露光条件等を記憶するための磁気ディスク装置等からなる記憶部13aが接続されている。また、ウエハステージ1上のウエハWの近傍には、光電検出器よりなる照度むらセンサ2が固定され、照度むらセンサ2の上面には、図16（b）に示すようにピンホール状の受光部2aが形成されており、受光部2aに入射した照明光IUの光電変換信号が図10の主制御系13に供給されている。これら以外の図10の構成は25 図1の実施の形態とほぼ同様であるため、その詳細な説明を省略する。

次に、本例の露光光源9及び照明系8の構成につき詳細に説明する。

図11は、図10中の露光光源9及び照明系8の構成を示し、この図11において、図2の実施の形態と同様の露光光源9から射出された直線偏光のレーザビームLBが照明系8に入射する。

そして、照明系8において、レーザビームLBは減光装置18によって所定の照度（＝単位面積当たりの平均パルスエネルギー×発振周波数）になるように減光される。本例のようにパルス発光型のレーザビームLB（照明光IU）を露光ビーム又は照明ビームとして使用する場合、ウエハ上の各点において積算露光量を適正値に対して許容範囲内に収めるためには、ウエハ上の各点に対する露光パルス数N（Nは整数）をパルスエネルギーのばらつきに応じて定まる所定の最小パルス数N_{min}以上にする必要がある。

また、予め例えば照明光学系の開口絞りが標準的な場合について、減光装置18の入射面でのレーザビームLBの照度とウエハW上での照明光IUの照度との間の比例係数が求められており、その比例係数が図11の照明制御系10中の記憶部に記憶されている。そして、照明制御系10は、その比例係数、現在の開口絞りの状態、及びその入射面でのレーザビームLBの平均パルスエネルギーより、ウエハ上の各点での予想される露光パルス数Nがその最小パルス数N_{min}以上になるように減光装置18での減光率（透過率）を設定する。

図11において減光装置18を通過したレーザビームLBは、変形照明機構19にて断面内での照度分布が所定の状態（円形、輪帯状、偏心した複数光源等）で、かつほぼ均一な分布になるように整形されて射出される。変形照明機構19の射出面の近傍、即ち本例ではレチクルRのパターン面に対する光学的なフーリエ変換面（瞳面）又はその近傍には、照明条件（通常照明、変形照明、小さいコヒーレンスファクタ（小σ値）の照明等）及びσ値を規定するための種々の開口絞り（σ絞り）が形成された絞り切り換え部材27が、回転自在に配置されている。照明制御系10が駆動モータ26を介して

絞り切り換え部材 27 を回転して、変形照明機構 19 の射出面に所定の開口絞りを配置することによって、照明条件及びレーザビームの開き角（ σ 値）が設定される。

変形照明機構 19 から射出されて所定の開口絞りを通過したレーザビーム
5 LB2 は、集光レンズ 21 により集光されミラー 55 で反射されて一度光源像（二次光源）を形成した後、所定の開き角（ σ 値）を持つ光束として、本発明の多光源形成光学系としての折り曲げ型ロッド状光学部材 56 に入射する。この折り曲げ型ロッド状光学部材 56 は、それぞれ外面が反射面とされた四角柱状の 7 個のロッド部材 57A～57G を、順次光路を 90° 折り曲げるための直角プリズム型のミラー部材 58A～58F を介して折り曲げる
10 ように連結して構成されている。ロッド部材 57A～57G 及びミラー部材 58A～58F はそれぞれレーザビーム LB2 に対して透過性の光学材料より形成されている。

ミラー 55 で反射されて 1 段目のロッド部材 57A に入射したレーザビーム LB2 は、順次外面での反射（又は全反射）によってミラー部材 58A、
15 ロッド部材 57B、ミラー部材 58B、ロッド部材 57C、ミラー部材 58C、ロッド部材 57D、ミラー部材 58D、ロッド部材 57E、ミラー部材 58E、ロッド部材 57F、及びミラー部材 58F、最終段のロッド部材 57G 内を通過して、このロッド部材 57G の射出面 76G から射出される
20（詳細後述）。そのロッド部材 57A の内部からロッド部材 57G の内部までの光路が本発明の送光路に対応しており、その射出面 76G が、被照明体としてのレチクル R のパターン面に対してほぼ共役に設定されている。

その射出面 76G に近接した位置に可動ブラインド 29B が配置され、この可動ブラインド 29B から所定量だけデフォーカスした位置に固定ブラインド 29A が配置されている。この場合、固定ブラインド 29A の開口によってレチクル R 上のスリット状の照明領域が規定されている。また、可動ブ

ラインド 29B はウエハ上の各ショット領域への走査露光の開始時及び終了時に、不要なパターンがウエハ上に転写されるのを防止するために、固定ブラインド 29A の開口を遮蔽する役割を果たしている。主制御系 13 からの同期情報に応じて照明制御系 10 が駆動部 30 を介して可動ブラインド 29B の動作を制御する。

可動ブラインド 29B 及び固定ブラインド 29A の開口を通過した照明光 I_U は、リレーレンズ系 31 及びコンデンサレンズ系 7 を介してレチクル R のパターン面を照明する。不図示であるが、例えば固定ブラインド 29A とリレーレンズ系 31 との間にビームスプリッタが配置され、このビームスプリッタを介して取り込まれる照明光を光電変換するインテグレータセンサが設けられており、このインテグレータセンサの検出信号が照明制御系 10 に供給されている。このインテグレータセンサの検出信号とウエハ W 上での照明光 I_U の照度との関係は予め計測されて、照明制御系 10 内の記憶部に記憶されており、照明制御系 10 は、ウエハ W 上での照明光 I_U の照度が主制御系 13 によって設定された目標値になるように、レーザ電源 17 及び減光装置 18 等を制御する。

次に、本例の変形照明機構 19 の構成は、図 3 及び図 4 を参照して説明した第 1 の実施の形態の変形照明機構と同一であり、光量損失を極めて少なくて通常照明、及び変形照明（輪帯照明を含む）を行うことができる。更に、輪帯照明の条件（例えば二次光源の外径、内径、輪帯比など）が連続的に、かつ任意に変更可能となっていると共に、ビームエキスパンダ 42A、42B によってレーザビーム L_B の倍率を切り換えることによって、光量損失が殆ど無い状態で照明光学系の σ 値を切り換えることができる。

また、本例の変形照明機構 19 の代わりに、図 5 を参照して説明したように回折光学素子（D.O.E.）方式の変形照明機構 19A、又はこの変形例を使用してもよい。これによって、入射するレーザビーム L_B の光量を殆ど損失

することなく、通常照明と変形照明との切り換えを行うことができる。この場合、図5中の射出面49は、図11の絞り切り換え部材27の配置面に対応している。

図11に戻り、変形照明機構19を通過したレーザビームLB1は、絞り
5 切り換え部材27、集光レンズ21、及びミラー55を介して折り曲げ型ロッド状光学部材56に入射する。以下では、その折り曲げ型ロッド状光学部材56の構成及び作用につき詳細に説明する。先ず、折り曲げ型ロッド状光学部材56を構成するロッド部材57A～57G及びミラー部材58A～5
10 8Fの外面（反射面）にはクロム等の金属膜の反射膜、又は多層の反射膜を形成しておけばよい。それ以外に、例えば角柱状のロッド部材57A～57Gの側面、及びミラー部材58A～58Fの反射面などは全反射を利用して
もよい。

また、ロッド部材57A～57G、ミラー部材58A～58Gを構成する
15 光学部材は、レーザビームLB2（露光ビーム）に対する透過率が良好である必要がある。そのような光学部材としては、レーザビームLB2がKrFエキシマレーザ（波長248nm）であれば溶融石英ガラス又は合成石英ガラス等が使用でき、レーザビームLB2がArFエキシマレーザ（波長193nm）であれば合成石英ガラス又は萤石（CaF₂）等が使用でき、レーザビームLB2がF₂レーザ（波長157nm）であれば萤石、フッ素等の
20 不純物をドープした合成石英ガラス、又はフッ化マグネシウム（MgF₂）等が使用でき、レーザビームLB2の波長が例えばKr₂レーザ（波長146nm）のように150nm程度以下であれば萤石又はフッ化マグネシウム等が使用できる。折り曲げ型ロッド状光学部材56としてそのように高透過率の材料を使用した場合でも、レーザビームLB2がその内部を繰り返して
25 通過する際に発熱する恐れがある。そこで、折り曲げ型ロッド状光学部材56を上下に挟むように、冷媒を循環させる冷却機構、ペルチェ素子等の吸熱

機構、又はヒートパイプ等の排熱機構を設けて、折り曲げ型ロッド状光学部材56の温度を制御することが望ましい。これによって、その折り曲げ型ロッド状光学部材56の発熱を避けることができる。

次に、図12(a)は、一辺の幅がdの長方形の断面形状を持つ長さLXのロッド部材57Xを示し、図12(b)は一辺の幅dの長方形の断面形状を持つ長さLY(LYはLXよりもかなり長い)のロッド部材57Yを示し、前者のロッド部材57Xが従来のロッド・インテグレータに対応する。これらのロッド部材57X, 57Yの入射面のほぼ全面にそれぞれ集光点75から開き角θR(開口半角)のレーザビームLB2が入射しているものとして、10次のように長さLXは、 $d / \tan \theta R$ より短く、長さLYは、 $d / \tan \theta R$ より長く $2 \cdot d / \tan \theta R$ より短いとする。

$$0 < LX < d / \tan \theta R \quad \dots (11A)$$

$$d / \tan \theta R < LY < 2 \cdot d / \tan \theta R \quad \dots (11B)$$

この場合、図12(a)に示すように、ロッド部材57Xの反射によって15集光点75の上下に虚像として2個の光源像(二次光源)77A, 78Aが形成されて、ロッド部材57Xの射出面76X、即ちレチクルとの共役面は3個の光源像からのレーザビームで重畠的に照明される。一方、図12(b)に示すように、ロッド部材57Yの反射によって集光点75の上下には虚像として4個の光源像77A, 77B, 78A, 78Bが形成されて、ロッド20部材57Yの射出面76Yは5個の光源像からのレーザビームで重畠的に照明される。この結果、ロッド部材57Yの長さLYを2以上の整数mを用いて次のように設定すると、その射出面76Yは $(2 \cdot m + 1)$ 個の光源像からのレーザビームで重畠的に照明されるようになり、長さLYを長くする程に重畠される光源像の個数が増加して積分効果によって照度分布の均一性が25向上することが分かる。

$$(m - 1) d / \tan \theta R < LY < m \cdot d / \tan \theta R \quad \dots (12)$$

また、 $(2 \cdot m + 1)$ 個の光源像が形成されるのは、波面分割数が $(2 \cdot m + 1)$ であるともみなすことができる。本例の図11の折り曲げ型ロッド状光学部材56のロッド部材57A～57Gの長さの和は、図12(b)のロッド部材57Yの長さLYを、(12)式の整数mの値が例えば10～50程度に設定されて、波面分割数が20～100程度に設定されるような長さにした場合に相当する。但し、本例のレチクルは長方形の照明領域で照明されるため、ロッド部材57Yの断面形状は、図12(c)に示すように、走査方向SDに対応する方向(Y方向)の長さがdで、走査方向に直交する方向(非走査方向:X方向)の長さdXが例えば長さdの数倍の長方形となっている。これは、図11のロッド部材57A～57Gについても同様である。そのため、非走査方向への波面分割数は、走査方向の数分の1に低下していることになる。これを避けるために、(2)式より例えば入射するレザビームLB2の非走査方向への開き角を大きくしておいてもよい。

15 このように単に波面分割数を大きくすると、ロッド部材の長さが長くなつて照明光学系が大型化してしまう。そこで、図11の折り曲げ型ロッド状光学部材56は、1本の長いロッド部材を6箇所でそれぞれ90°折り曲げた構成を採用している。この結果、本例の照明光学系は、小型化できると共に波面分割数を大きくでき、レチクルRを照明する際の照度分布の均一性を向上できる。

20 また、図11の折り曲げ型ロッド状光学部材56のロッド部材57A～57Gの折り曲げ方向の幅d1～d7は、次のように入射側から射出側にかけて次第に広く設定されている。

$$d_1 < d_2 < d_3 < d_4 < d_5 < d_6 < d_7 \dots \quad (13)$$

この理由につき説明するに、先ず図13(a)に示すように、1段目の幅25 d1のロッド部材57Aに対して、ミラー58Zを介して同じ幅d1のロッド部材57Zが配置されているものとすると、ロッド部材57Aに入射する

レーザビームL B 2 の内で斜線を施した部分E A 及びE B はケラレによってロッド部材5 7 Zに達することができないか、又は側面に対する入射角が小さくなり、全反射を利用する場合には外部に透過してしまう。その結果、光量損失が大きくなってしまう。これに対して、図1 3 (b) に示すように、

5 1段目のロッド部材5 7 A に対して大きいミラー5 8 A' を介して幅d 2 ($> d_1$) のロッド部材5 7 B を配置した場合には、ロッド部材5 7 A に入射するレーザビームL B 2 の大部分がロッド部材5 7 B にそのまま伝播するため、光量損失が少なくなる利点がある。更に、図1 1の折り曲げ型ロッド状光学部材5 6 では、図1 3 (b) のミラー5 8 A' の代わりに次段のロッド部材5 7 B の大きさに合わせたプリズム型のミラー部材5 8 A を使用しているため、隣接するロッド部材5 7 A, 5 7 B が安定に固定できると共に、光量損失がより少なくなっている。これは他のミラー部材5 8 B ~ 5 8 F も同様である。この際に、例えばミラー部材5 8 A とロッド部材5 7 B とを一体化して、同様にそれに続くミラー部材とロッド部材とを順次一体化してもよく、これによって折り曲げ型ロッド状光学部材5 6 の組立調整が容易になる。

なお、折り曲げ型ロッド状光学部材5 6 を構成するロッド部材5 7 A ~ 5 7 G の個数は2 個以上であれば任意である。また、折り曲げ型ロッド状光学部材5 6 は、屈折部材を使用することなく、レーザビームの光路を覆うように複数枚のミラーを組み合わせて構成してもよい。この場合には、内部に窒素ガス、又は希ガス（ヘリウムガス等）のように紫外域のレーザビームに対して高透過率のいわゆる不活性ガスをパージするか、又はその内部を真空にすることによって、高い透過率が得られる。これは、そのレーザビームがAr₂ レーザ（波長1 2 6 nm）のように短波長である場合に特に有効である。

25 なお、そのレーザビームの波長（露光波長）が2 0 0 nm程度以上であるときには、その内部にドライエアー等をパージしてもよい。そして、その内部

を真空中にした場合には露光ビームとして軟X線等の極端紫外光（EUV光）も使用することができる。

次に、本例の投影露光装置の露光量制御動作の一例につき説明する。図10において、本例では露光前に予めレチクルRの代わりに転写用のパターンの形成されていない素通しのテストレチクルを配置した状態で、投影光学系3のスリット状の露光領域に対して走査方向（Y方向）の手前側に照度むらセンサ2を移動する。そして、露光光源9にテスト発光を行わせて、図16（b）に示すように照度むらセンサ2の受光部2aをその露光領域を走査方向に横切るように所定ピッチで移動させる。この際に照度むらセンサ2は、所定ピッチで移動する毎に例えば数10パルスの照明光IUを受光して光電変換信号を主制御系13に供給し、主制御系13は、一連の所定ピッチの計測点に対して光電変換信号の平均値を照度Pi（i=1, 2, 3, …）として割り当てる。

図16（a）の曲線60Aは、そのようにして得られる露光領域の走査方向への照度分布の一例を示し、この図16（a）において、曲線60Aは実際には所定ピッチのデジタルデータの集合である。その後、主制御系13は、その曲線60Aをフーリエ変換（FFT等）して、最も振幅の大きい空間周波数成分の走査方向（Y方向）へのピッチQ1を求め、このピッチQ1を記憶部13aに記憶する。本例では図11の変形照明機構19及び折り曲げ型ロッド状光学部材56の使用によって、レチクルR上及びウエハW上の照度分布の均一性はかなり向上しているため、そのピッチQ1は残留している干渉縞（スペックル）のピッチともみなすことができる。

即ち、図10のウエハW上のスリット状の露光領域を図15（a）の走査方向SD（Y方向）の幅（スリット幅）Dの露光領域59とすると、レチクルの透過率分布が一様であっても、露光領域59上の照明光（露光ビーム）の走査方向への照度分布は、図15（b）の曲線60で示すように平均とし

てピッチ Q_1 で周期的に変動している。この状態で、走査露光時に図15(b)の発光位置 $71A, \dots, 71B, \dots$ で示すように、ウエハWがY方向にピッチ Q_1 の整数倍 $n \cdot Q_1$ (図15(a)では $n=1$)だけ移動する毎に照明光IUのパルス発光を行うものとすると、ウエハW上での積算露光量は、図15(c)の露光量分布曲線 $72A, 72B, \dots, 72E$ で示すように次第にコントラストの強い周期的な分布となってしまい、露光量むらが発生する。

そこで本例では、図15(d)の走査露光時の曲線60で表される照度分布のピッチ Q_1 に対して、発光位置 $73A, \dots, 73B, \dots$ で示すように、照明光IUのパルス発光が行われる毎にウエハWがY方向に移動する距離 Q_2 を、非整数倍の関係に設定する。これは、次式のように任意の整数nを用いても $n \cdot Q_1$ が Q_2 に合致しないことを意味している。

$$Q_2 \neq n \cdot Q_1 \quad \dots (14)$$

この結果、ウエハW上での積算露光量は、図15(e)の露光量分布曲線 $74A, 74B, \dots, 74E$ で示すように次第に平坦な分布となり、照明光IU自体の照度分布のむらが積算露光量のむらになることはない。従って、走査露光後のウエハW上の各ショット領域での積算露光量分布の均一性が向上する。

具体的に走査露光時の各パラメータの設定方法を説明するために、図10のウエハW上のレジスト感度(適正露光量)をE [J/mm²]、ウエハW上での平均パルスエネルギーをP [J/mm²] とすると、露光パルス数N ($\geq N_{min}$) を用いて所定の許容範囲内で次の関係が成立する必要がある。

$$E = N \cdot P \quad \dots (15)$$

また、ウエハW上の露光領域のスリット幅はD [mm] であり、ウエハステージ1の走査速度をV [mm/s]、この走査速度Vの上限をV_{max}、露光光源9におけるレーザビームLBの発振周波数をf [1/s]、この発振周

波数 f の上限を f_{max} とすると、図 15 (d) のパルス発光毎にウエハWが移動する距離 Q_2 [mm]、及び露光パルス数 N は次のようになる。

$$Q_2 = V / f \neq n \cdot Q_1 \quad \cdots (16)$$

$$N = f \cdot (D / V) \geq N_{min} \quad \cdots (17)$$

5 この (17) 式を (15) 式に代入すると、次式が得られる。

$$E \cdot V = f \cdot P \cdot D \quad \cdots (18)$$

そこで、スリット幅 D が固定されているものとすると、主制御系 13 は、スループットを高めるために走査速度 V を上限値 V_{max} に設定すると共に、(18) 式より次のように発振周波数 f を計算する。

$$10 \quad V = V_{max}, \quad f = E \cdot V / (P \cdot D) \quad \cdots (19)$$

主制御系 13 は、この結果得られる発振周波数 f を上限値 f_{max} と比較すると共に、(16) 式の距離 $Q_2 (=V/f)$ を記憶部 13a に記憶してあるピッチ Q_1 と比較する。そして、発振周波数 f が上限値 f_{max} を超える場合、又は所定の許容範囲内で (16) 式の Q_2 が $n \cdot Q_1$ と等しくなった場合には、主制御系 13 は一例として走査速度 V を上限値 V_{max} よりも所定の ΔV だけ小さい値に設定して、(19) 式の第 2 式より発振周波数 f を再計算する。そして、このように得られる発振周波数 f が上限値 f_{max} 以下となり、かつ所定の許容範囲を超えて (16) 式の $Q_2 \neq n \cdot Q_1$ が成立するまで、走査速度 V を次第に ΔV だけ小さくして発振周波数 f を再計算する。これによって、最終的に (16) 式が成立し、かつ上限値以内の値として発振周波数 f 及び走査速度 V の値が決定され、発振周波数 f は照明制御系 10 に設定される。

これに応じて照明制御系 10 は図 11 のレーザ電源部 17 にレーザビーム LB の発振周波数 f を設定する。そして、主制御系 13 がウエハステージ制御系 11 及びレチクルステージ制御系 12 にウエハ W の走査速度 V (レチクル R の走査速度は V/β) を設定し、走査露光を開始することによって、ウ

エハW上の各ショット領域にそれぞれレチクルRのパターンの像の転写露光が行われる。また、走査露光中には、ウエハW上の各ショット領域に対する積算露光量が不図示のインテグレータセンサを介して間接的に計測され、この計測値に基づいて露光光源9からのパルス光の出力の微調整が行われる。

5 上記のように本例では照明系8中に折り曲げ型ロッド状光学部材5 6が配置されているため、露光ビームとしてのレーザビームLB 2の可干渉性（空間コヒーレンス）が高い場合でも、レチクルR上の照明領域、ひいてはウエハW上の露光領域での照度分布の均一性が向上している。更に、その照明領域に干渉縞（スペックル等）が残留していても、（16）式の条件を満たすことによって走査露光後の積算露光量のむらは極めて少なくなっており、高い線幅均一性が得られる。また、その干渉縞の影響が低減できるため、一回の露光に必要なパルス発光数を少なくすることができ、露光時間の短縮によるスループット向上も期待できる。

10

更に、小さいスペースで、かつ少ない光量損失で通常照明、輪帶照明、及び小 σ 値の照明等を実現できるので、レジスト感度の低いレイヤに対するスループットも向上できる。一方、露光時間が従来例と同程度でよい場合には、露光光源9の出力の上限（定格）を低く設定できることによる投影露光装置のコストダウン、及び露光光源9自体の高寿命化も実現できる。

15 次に、上記の実施の形態の折り曲げ型ロッド状光学部材5 6の他の構成例につき図14を参照して説明する。

20 図14（a）の構成例は、4個のミラー部材と3個のロッド部材とから構成されている。そして、レーザビームLB 2の入射側から順に「コの字型」に光路を90°折り曲げるためのミラー部材5 8 G、ロッド部材5 7 H、ミラー部材5 8 H、ロッド部材5 7 I、ミラー部材5 8 I、ロッド部材5 7 J、及びミラー部材5 8 Jが配置されている。

25 また、図14（b）の構成例も、4個のミラー部材と3個のロッド部材と

から構成されている。そして、レーザビームLB2の入射側から順にほぼ「S字型」に、ミラー部材58G、ロッド部材57H、光路を180°折り曲げるためのミラー部材58K、ロッド部材57K、光路を180°折り曲げるためのミラー部材58L、ロッド部材57L、及びミラー部材58Mが配置されている。
5

そして、図14(c)の構成例は、レーザビームLB2(直線偏光とする)を偏光ビームスプリッタ58Nによってループ状の光路に導き、そのループ状の光路を通過したレーザビームLB2を偏光ビームスプリッタ85Nを介して取り出している。実際には、偏光ビームスプリッタ58Nは光軸の回りに90°回転した状態で配置され、レーザビームLB2の照射及び取り出しはそのループ状の光路に影響されることなく図14(c)の紙面に垂直な方向に行われるよう構成されている。また、そのループ状の光路は、入射側から順にロッド部材57M、光路をほぼ60°折り曲げるためのミラー部材58O、ロッド部材57N、光路をほぼ120°折り曲げるためのミラー部材58P、ロッド部材57O、ミラー部材58Q、及びロッド部材57Pを配置したものである。
10
15

また、図14の各構成例においても、一連のロッド部材の幅を折り曲げ方向に次第に広くすることによって、光量損失を少なくできる。図14の各構成例のように、折り曲げ型ロッド状光学部材56を3個以上のロッド部材を折り曲げて配置して(3箇所以上で折り曲げて)構成することによって、必要な照度分布の均一性を得た上で、照明光学系を特に小型化することができる。
20

以上のように本例では、KrFエキシマレーザを用いた露光方法について説明したが、今後より短波長のArFエキシマレーザ(193nm)、F₂レーザ(157nm)、Ar₂レーザ光(波長126nm)、YAGレーザの高調波、又は半導体レーザの高調波等の可干渉性を有するレーザ光を露光
25

ビームとして使用する場合にも折り曲げ型ロッド状光学部材 5 6 は有効である。しかしながら、そのように真空紫外域のレーザビームを使用する場合に、折り曲げ型ロッド状光学部材 5 6 がエネルギー集中による損傷を受けたり、
5 雰囲気中に混入する微量な有機物質等とそのレーザビームとの化学反応によ
って形成される曇り物質が折り曲げ型ロッド状光学部材 5 6 の入射出面に付
着する恐れがある。

そこで、図 1 1 の折り曲げ型ロッド状光学部材 5 6 の入射側のロッド部材
5 7 A 及び射出側のロッド部材 5 7 G を交換可能としたり、入射出面を覆う
ように曇り物質の付着を防止するための透明なカバーを設け、このカバーの
10 内部にレーザビームに対して高透過率で清浄な気体（上記の不活性ガス等）
をバージするようにしてもよい。また、有機物等の発生を防止するためには、
折り曲げ型ロッド状光学部材 5 6 を構成する複数の光学部材（ロッド部材など）
15 を接着剤又は充填剤などを用いることなく、保持具などによって一体的に
保持することが望ましい。更に、上記のカバーの内部等を例えばテフロン
などでコートしておくことによって、有機物等の発生を防止できる。

また、図 1 1 の構成例では、変形照明機構 1 9 の射出面に照明系の開口絞
り（σ 絞り）としての絞り切り換え部材 2 7 が配置されているが、その絞り
切り換え部材 2 7 を例えばリレーレンズ系 3 1 とコンデンサレンズ系 7 との
間の瞳面（レチクル R のパターン面に対するフーリエ変換面）に配置するよ
うにしてもよい。

更に、干渉縞をより低減するために、図 1 1 の構成例では例えばミラー 5
5 を振動させて、折り曲げ型ロッド状光学部材 5 6 に入射するレーザビーム
L B 2 の入射角を僅かに周期的に変動させるようにしてもよい。

更に、レーザビーム L B 2 の可干渉性が高い方向とレチクル R の走査方向
25 に直交する非走査方向とを交差させる、例えばその可干渉性が高い方向を走
査方向とほぼ一致させるようにして、走査露光による平均化効果でスペック

ルの影響を低減させるようにしてもよい。このとき、非走査方向に関しては必要に応じて、上記のようにミラー 5 5 を振動させて（振動ミラーを用いて）その照度むら（露光量むら）を均一化するようにしてもよい。この方法とは別に、レーザビーム L B 2 の可干渉性が高い方向と非走査方向とを一致させて、非走査方向に関する照度むら（露光量むら）をその振動ミラー、又は拡散板等の照度均一化手段を用いて均一化させるようにしてもよい。

次に、上記の第 1 の実施の形態の露光装置は、図 2 の遅延光学系 2 2 等の光学部材から構成される照明光学系、及び投影光学系を露光装置本体に組み込み光学調整をすると共に、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより製造することができる。なお、露光装置の製造は温度及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。同様に第 2 の実施の形態の露光装置も製造することができる。

また、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、このステップに基づいたレチクルを製造するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、前述した実施の形態の各投影露光装置によりレチクルのパターンをウエハに露光するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

また、上記の実施の形態は、本発明をパルス光を用いる走査露光型の投影露光装置に適用したものであるが、本発明は連続光を露光ビームとする走査露光型の投影露光装置、連続光やパルス光を用いるステッパー等の一括露光型の投影露光装置にも適用できると共に、投影光学系を使用しないプロキシミティ方式の露光装置等の照明光学系にも適用できることは明らかである。更に、露光ビームの波長によっては、照明光学系を反射光学素子のみで構成

することもあるが、本発明はこのような照明光学系にも適用することができる。

更に、本発明の露光装置は、半導体製造用の露光装置に限定されことなく、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
5 製造用の露光装置、プラズマディスプレイ素子を製造するための露光装置、マイクロマシン、薄膜磁気ヘッド、撮像素子（CCD等）等を製造するための露光装置、更にはデバイスピターンが描画されるマスク自体を転写方式で製造するための露光装置等にも広く適用できる。

また、エキシマレーザなどの代わりに、DFB（Distributed feedback）
10 半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域又は可視域の単一波長レーザを、例えばエルビウム（Er）（又はエルビウムとイッテルビウム（Yb）との両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、かつ非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を露光ビームとして用いてもよい。例えば、单一波長レーザの発振波長を1.544～1.553μm
15 の範囲内とすると、193～194nmの範囲内の8倍高調波、即ちArFエキシマレーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を1.57～1.58μmの範囲内とすると、157～158nmの範囲内の10倍高調波、即ちF₂レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。

~このように本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。また、明細書、特許請求の範囲、図面、及び要約を含む1999年5月18日付け提出の日本国特許出願第11-137840号、1999年11月15日付け提出の日本国特許出願第11-324748号及び、1999年12月16日付け提出の日本国特許出願第11-358204号の全ての開示内容は、そっくりそのまま引用して本願に組み込まれている。

産業上の利用の可能性

本発明の第1の露光方法、及び第1の照明装置によれば、光束を実質的に閉じたループ状の光路に通し、このループ状の光路をそれぞれ開き角に応じて互いに異なる回数だけ通過した複数の光束を重ね合わせているため、その光束の時間的な可干渉性が大きく低下する。従って、可干渉性の高い照明光（露光ビーム）を使用する場合でも、照明光学系をあまり複雑化及び大型化することなく、また照明時間（露光時間）を長くすることなく、転写対象のパターン上で実質的にはほぼ均一な照度分布が得られる。

また、本発明の第1、第2の露光装置によれば、露光ビームの照度を高くしても露光量むらが少なくなるため、高機能のデバイスを高いスループットで量産できる。

また、露光ビームの光量損失を少なくした状態で、照明方式を通常照明、 σ 値の小さい照明、又は変形照明（輪帯照明）に切り換えた場合でも、干渉縞が殆ど生じないため、レジスト感度の低いレイヤに対しても高いスループットで露光を行うことができる。更に、従来と同程度の照度でよい場合には、露光光源としてのレーザ光源の出力仕様を低く設定できるため、レーザ光源の低コスト化及び高寿命化が実現できる。

次に、本発明の第2の露光方法によれば、露光ビーム（照明光）の光路を折り曲げているため、可干渉性の高い露光ビームを使用する場合でも、照明光学系をあまり大型化することなく、また照明時間（露光時間）を長くすることなく、転写対象のパターンでの照度分布の均一性を向上できる。

また、本発明の第3の露光方法によれば、パルス光を用いて走査露光を行う場合に、パルス発光のタイミングを所定の状態に制御しているため、可干渉性の高い露光ビームを使用する場合でも、照明光学系をあまり大型化することなく、また照明時間（露光時間）を長くすることなく、露光後の積算露光量分布の均一性を向上できる。

また、本発明の第2の照明装置、第3及び第4の露光装置、並びに第5の露光装置によれば、それぞれ本発明の対応する露光方法を実施できると共に、露光ビーム（照明ビーム）の照度を高くしても露光量むらが少なくなるため、高機能のデバイスを高いスループットで量産できる。更に、従来と同程度の照度でよい場合には、露光光源としてのレーザ光源の出力仕様を低く設定できるため、レーザ光源の低コスト化及び高寿命化が実現できる。

10

15

20

25

請 求 の 範 囲

1. 露光ビームで第1物体を照明し、該第1物体のパターンを第2物体上に転写する露光方法において、

5 その露光ビームを所定の開き角分布を有する光束に調整し、該調整された光束を実質的に閉じたループ状の光路に通し、該ループ状の光路をそれぞれ開き角に応じて互いに異なる回数だけ通過した複数の光束を重ね合わせて前記第1物体に導くようにしたことを特徴とする露光方法。

2. 光源からの照明光で被照明体上のパターンを照明する照明装置において、

10 前記光源からの照明光を受光する窓部を備え、該窓部から入射した光束をそれぞれ開き角に応じて互いに異なる回数だけ通過させた複数の光束を重ね合わせて前記被照明体側に射出する光学部材を設けたことを特徴とする照明装置。

15 3. 前記光源と前記光学部材との間に、前記光源からの照明光を所定の開き角分布を有する光束に調整する開き角調整光学系を配置し、

前記光学部材と前記被照明体との間に、前記光学部材からの照明光から複数の光源像を形成する多光源形成光学系と、前記複数の光源像からの光束を重疊的に前記被照明体に照射するコンデンサ光学系と、を配置したことを特徴とする請求の範囲2記載の照明装置。

20 4. 前記窓部は、前記光学部材の中心軸から偏心した位置に配置されることを特徴とする請求の範囲2又は3記載の照明装置。

5. 前記光学部材は、外周面が反射面とされて内部を前記照明光が通過する1個又は複数個の外面反射型部材をリング状に配置して構成されることを特徴とする請求の範囲2又は3記載の照明装置。

25 6. 前記光学部材は、それぞれ外周面が反射面とされて内部を前記照明光が透過する複数の角柱状の透過部材を順次反射面を介してリング状に配置して

構成されることを特徴とする請求の範囲 2 又は 3 記載の照明装置。

7. 前記光学部材の窓部は、前記透過部材の境界部の反射面の一部に形成された開口であり、

5 前記光学部材を通過した照明光は前記開口を介して射出されることを特徴とする請求の範囲 6 記載の照明装置。

8. 前記光学部材の窓部は、前記透過部材の境界部の反射面の一部に形成されたプリズム体的一面であり、

前記光学部材を通過した照明光は前記プリズム体の別の面を介して射出されることを特徴とする請求の範囲 6 記載の照明装置。

10 9. 前記光学部材の窓部は、前記透過部材の内部に形成された反射部であることを特徴とする請求の範囲 6 記載の照明装置。

10. 第 1 物体上のパターンを第 2 物体上に転写する露光装置において、請求の範囲 2 ~ 9 の何れか一項記載の照明装置からの照明光で前記第 1 物体上のパターンを照明することを特徴とする露光装置。

15 11. 露光ビームで第 1 物体を照明する照明系を有し、前記第 1 物体を介して前記露光ビームで第 2 物体を露光する露光装置において、

前記照明系内で前記露光ビームを内面反射させ、かつその進行方向を変化させる伝送部を有する光学部材を備え、

20 前記光学部材には、更に前記露光ビームを射出するために前記伝送部の断面積よりも小さい開口が形成されたことを特徴とする露光装置。

12. 露光ビームで第 1 物体を照明し、該第 1 物体のパターンを経た露光ビームで第 2 物体を露光する露光方法において、

25 前記露光ビームを、反射面によって囲まれると共に少なくとも 1 箇所の折り曲げ部を有する開いた送光路を介して、前記第 1 物体のパターン面と実質的に共役な面に導き、該面を通過した前記露光ビームを前記第 1 物体に導く

ようにしたことを特徴とする露光方法。

13. 前記折り曲げ部による折り曲げ方向において、前記送光路の幅は入射部側よりも射出部側の方が広いことを特徴とする請求の範囲12記載の露光方法。

5 14. パルス発光される露光ビームで第1物体を照明し、該第1物体と第2物体とを同期移動して、前記第1物体のパターンを経た前記露光ビームで前記第2物体を走査露光する露光方法において、

予め前記第2物体の走査方向における該第2物体上での前記露光ビームの強度分布の繰り返しのピッチを計測しておき、

10 前記露光ビームのパルス発光の1周期の間に前記第2物体が前記走査方向に移動する距離を、前記計測されたピッチの非整数倍に設定することを特徴とする露光方法。

15 15. 前記第2物体上での前記露光ビームの強度分布の繰り返しのピッチは、該強度分布の内で最も振幅の大きい空間周波数成分のピッチであることを特徴とする請求の範囲14記載の露光方法。

16. 光源からの照明ビームで被照明体上のパターンを照明する照明装置において、

20 それぞれ反射面によって囲まれて内部を前記照明ビームが通過する複数個の伝送部と、該複数の伝送部の境界部で前記照明ビームの光路を折り曲げる一つ又は複数の反射部とを備え、前記複数個の伝送部のうちの一つの伝送部で前記照明ビームを取り込み、他の伝送部から前記第1物体のパターン面と実質的に共役な面に前記照明ビームを照射する多光源形成光学系と、

前記実質的に共役な面を通過した前記照明ビームを前記パターン上に集光するコンデンサ光学系と

25 を有することを特徴とする照明装置。

17. 前記光源と前記多光源形成光学系との間に、前記光源からの前記照明

ビームの照度分布を光軸を含む領域で大きくなる第1分布と、前記光軸から離れた領域で大きくなる第2分布とに切り換える照度分布切り換え光学系を配置したことを特徴とする請求の範囲16記載の照明装置。

18. 請求の範囲16又は17記載の照明装置からの照明ビームで前記被照明体としての第1物体を照明し、

該第1物体のパターンを経た前記照明ビームで第2物体を露光することを特徴とする露光装置。

19. 露光ビームで第1物体を照明する照明系を有し、前記第1物体を介して前記露光ビームで第2物体を露光する露光装置において、

10 前記照明系内で前記露光ビームを内面反射させる伝送部を有する光学部材を備え、

前記光学部材の前記伝送部は少なくとも1箇所で折り曲げられると共に、前記折り曲げの前よりも前記折り曲げの後で前記伝送部の幅を大きくしたことの特徴とする露光装置。

15 20. パルス光源からの露光ビームで第1物体を照明し、ステージ系を介して前記第1物体と第2物体とを同期移動して、前記第1物体のパターンを経た前記露光ビームで前記第2物体を走査露光する露光装置において、

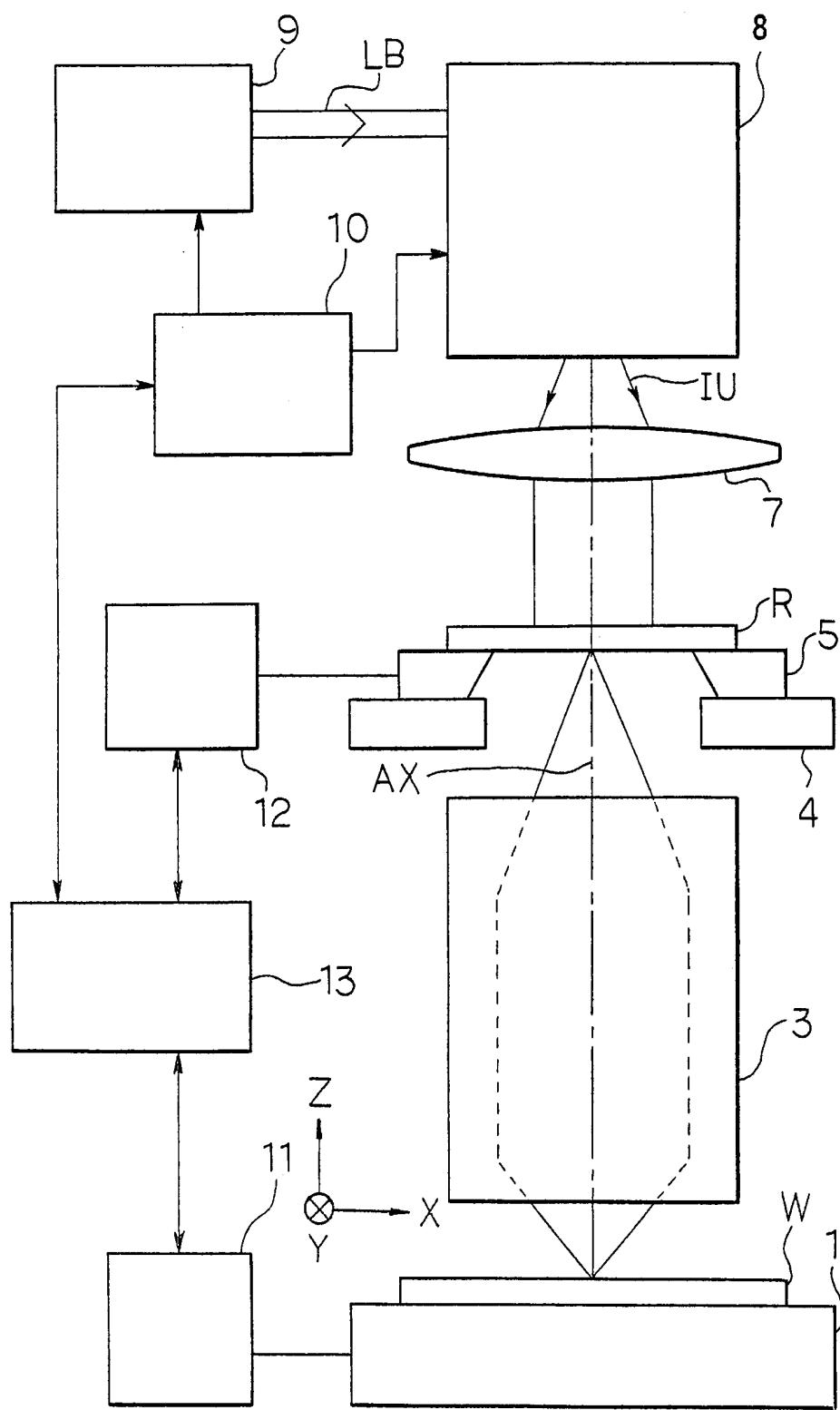
前記第2物体の走査方向における該第2物体上での前記露光ビームの強度分布の繰り返しのピッチを記憶する記憶部と、

20 該記憶されているピッチに応じて前記パルス光源の発光周波数及び前記ステージ系による前記第2物体の走査速度を制御する制御系とを有することを特徴とする露光装置。

21. 請求の範囲1、12～15の何れか一項記載の露光方法を用いてデバイスパターンをワークピース上に転写する工程を有するデバイス製造方法。

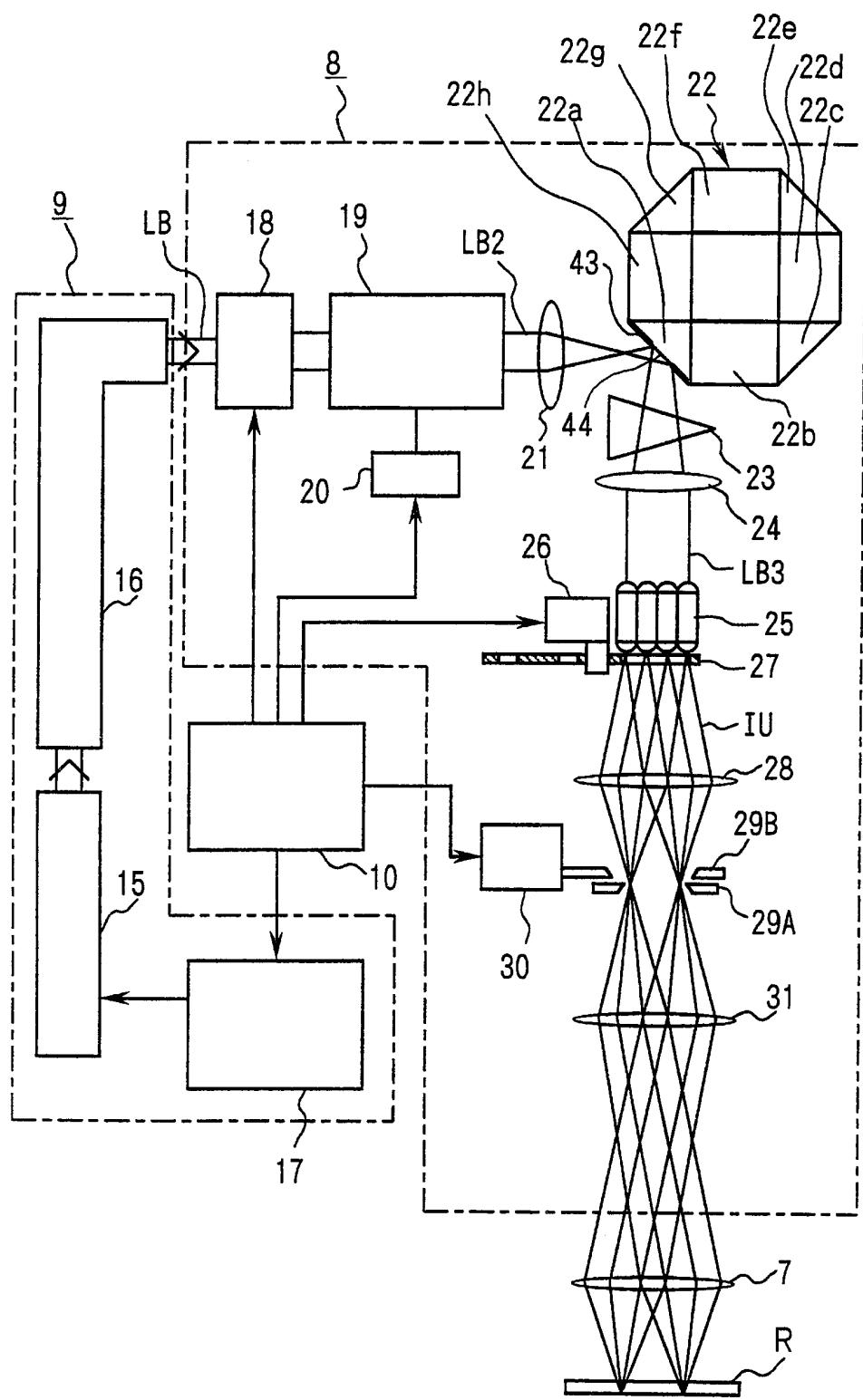
1/16

図 1



2/16

図 2



3/16

図 3

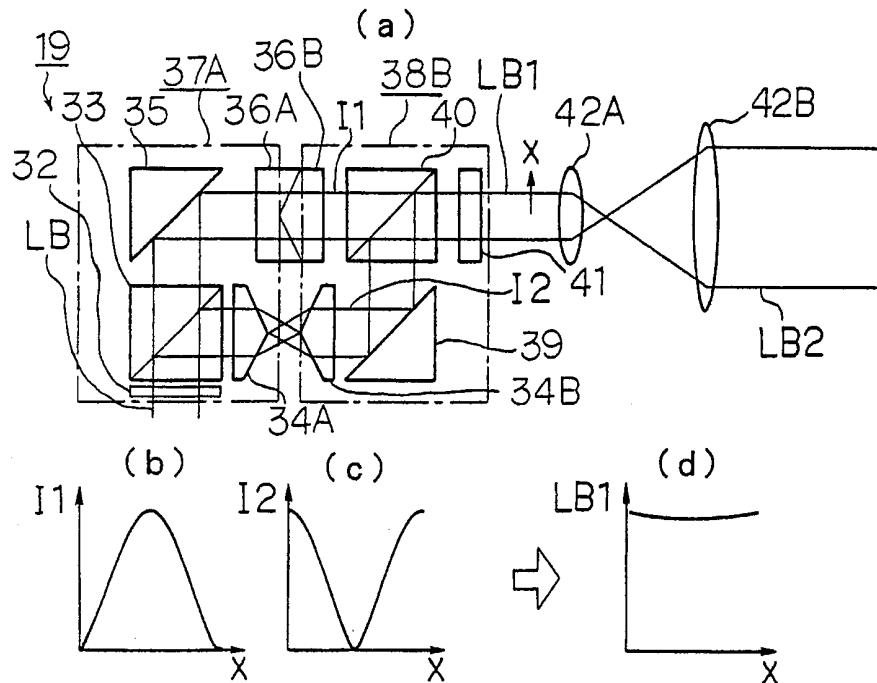
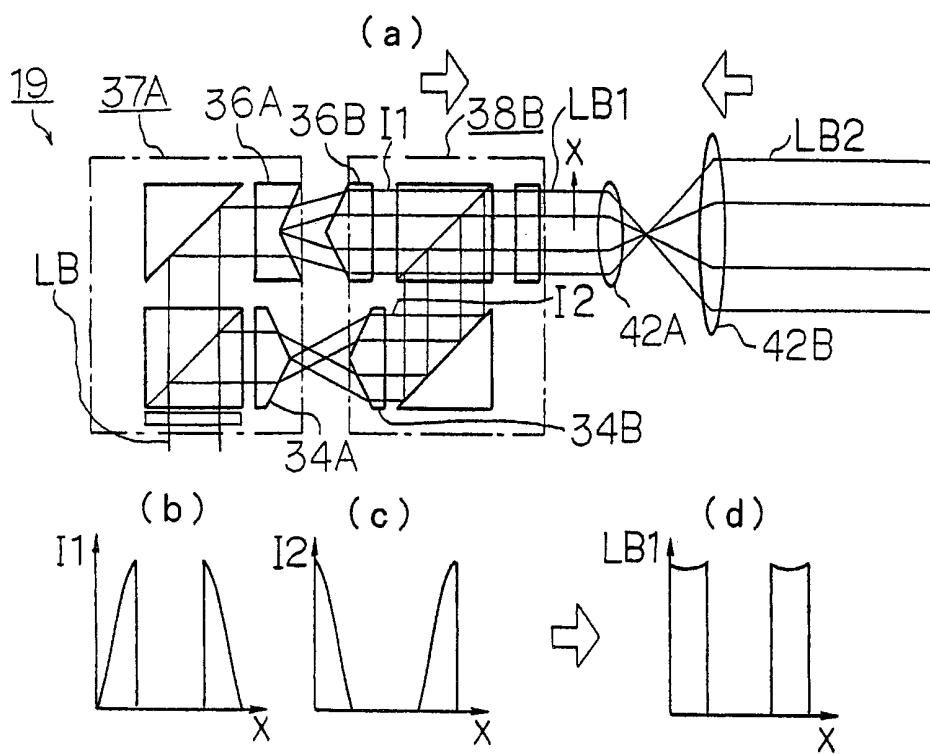
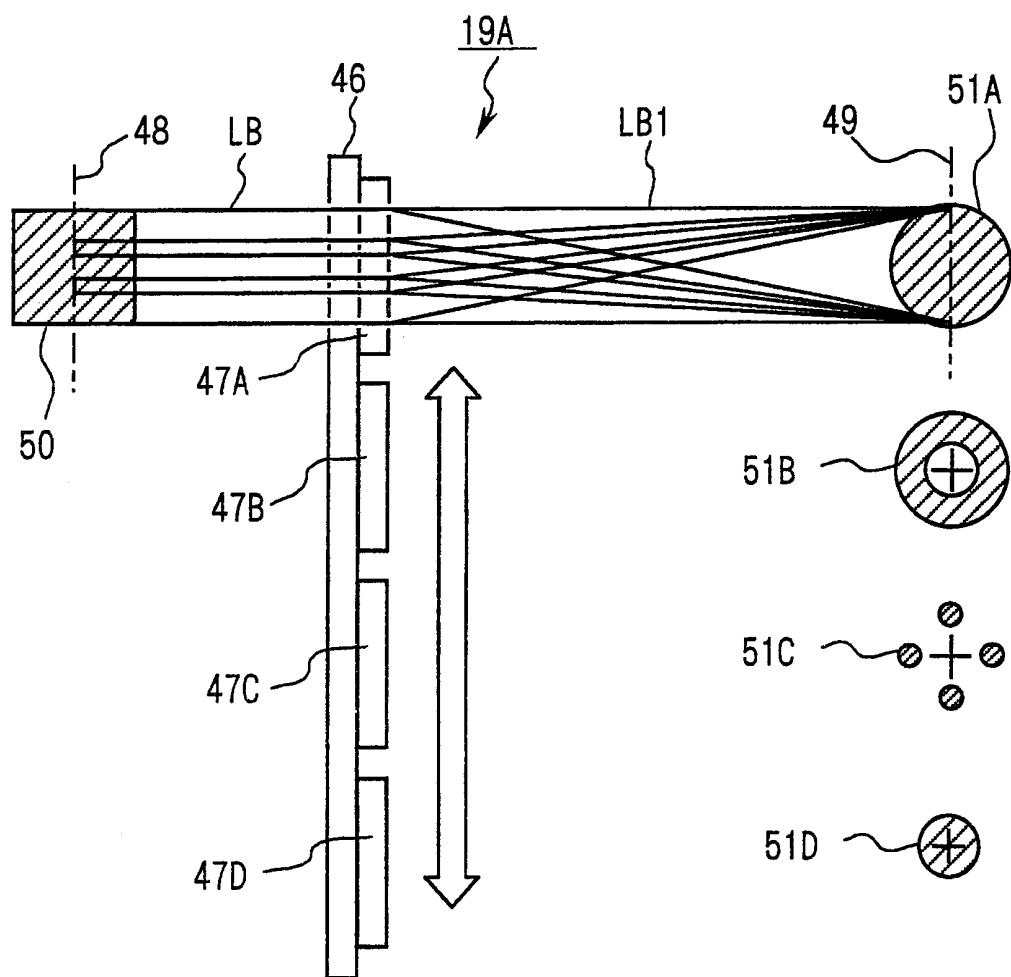


図 4



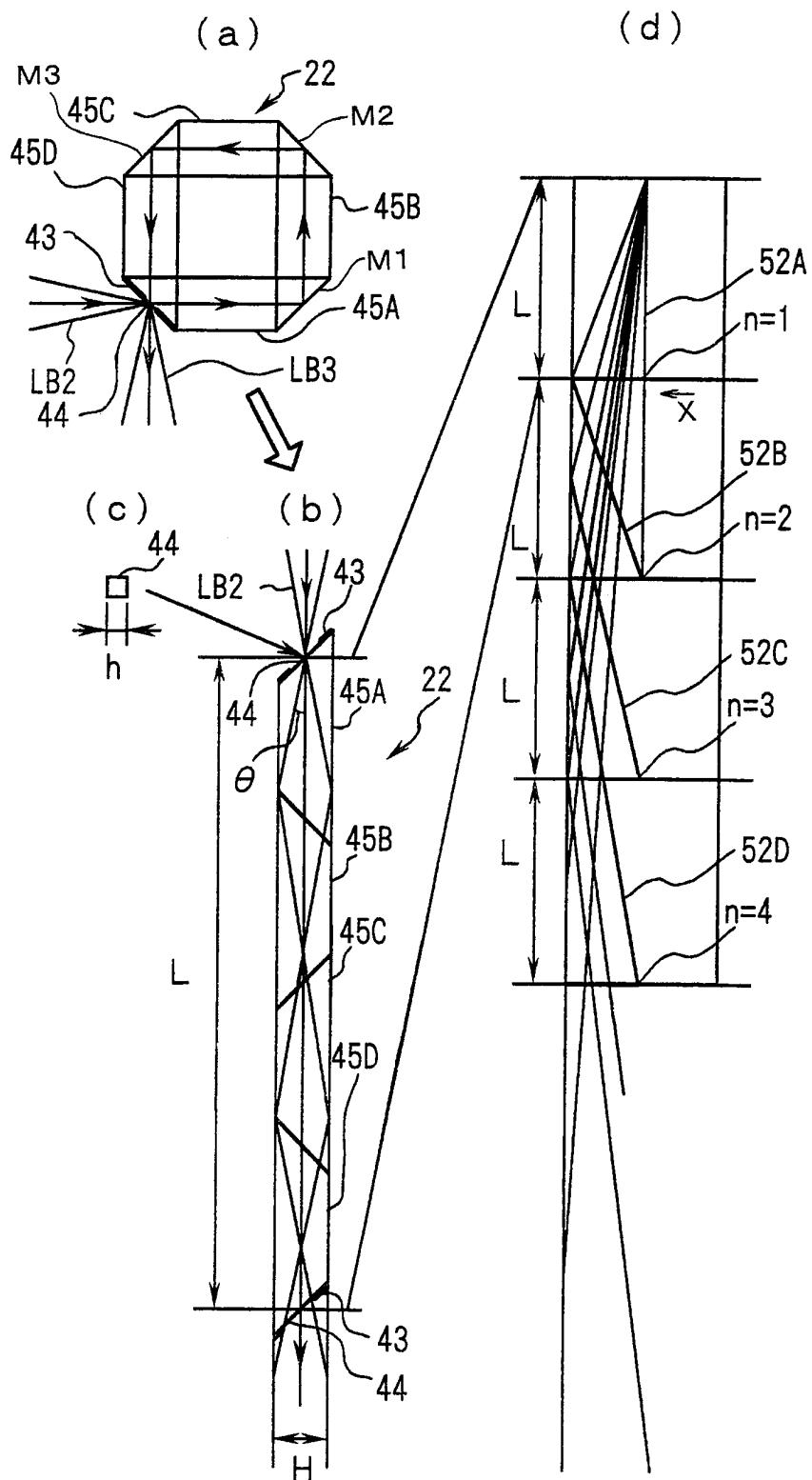
4/16

図 5



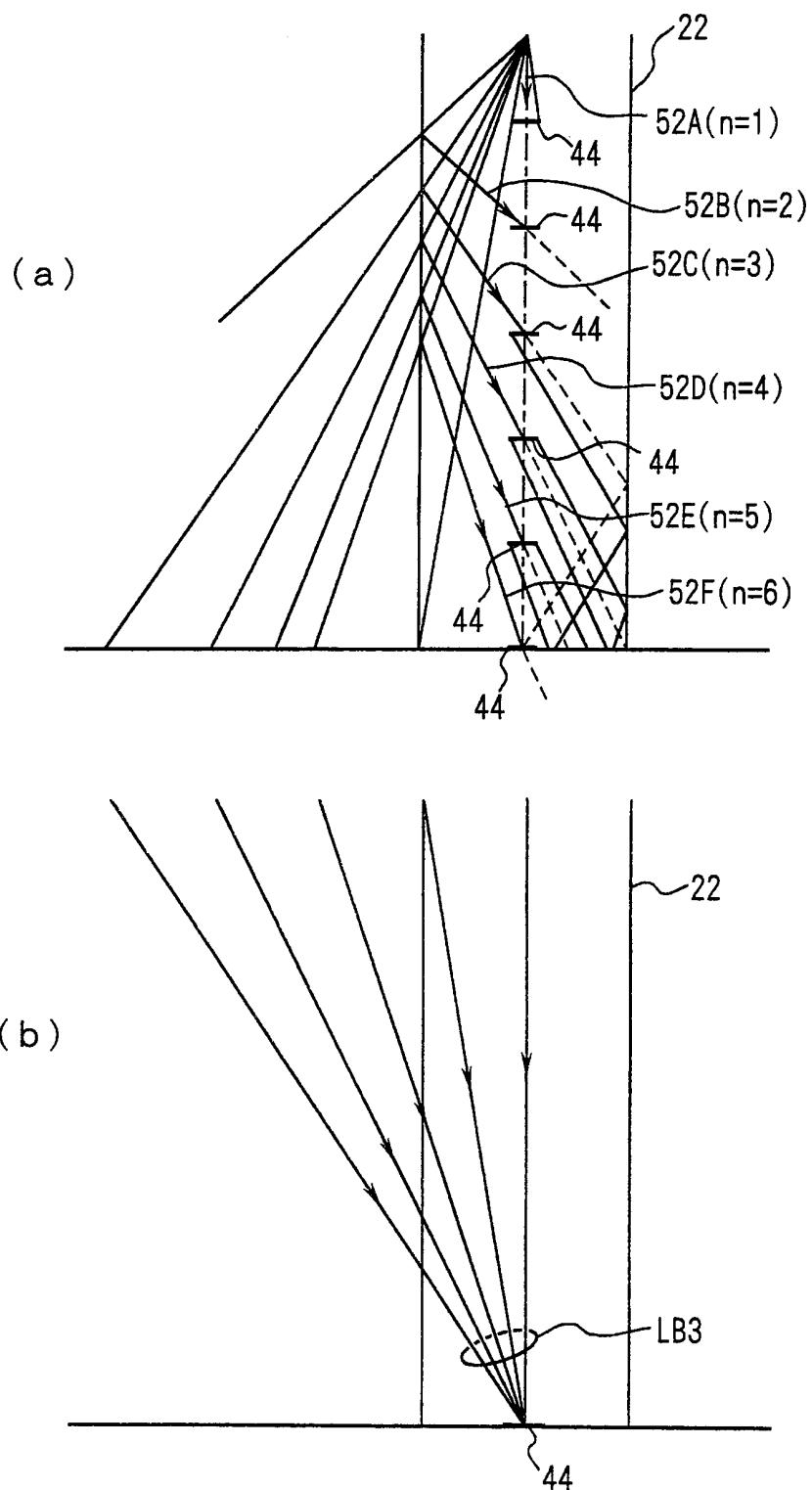
5/16

図 6



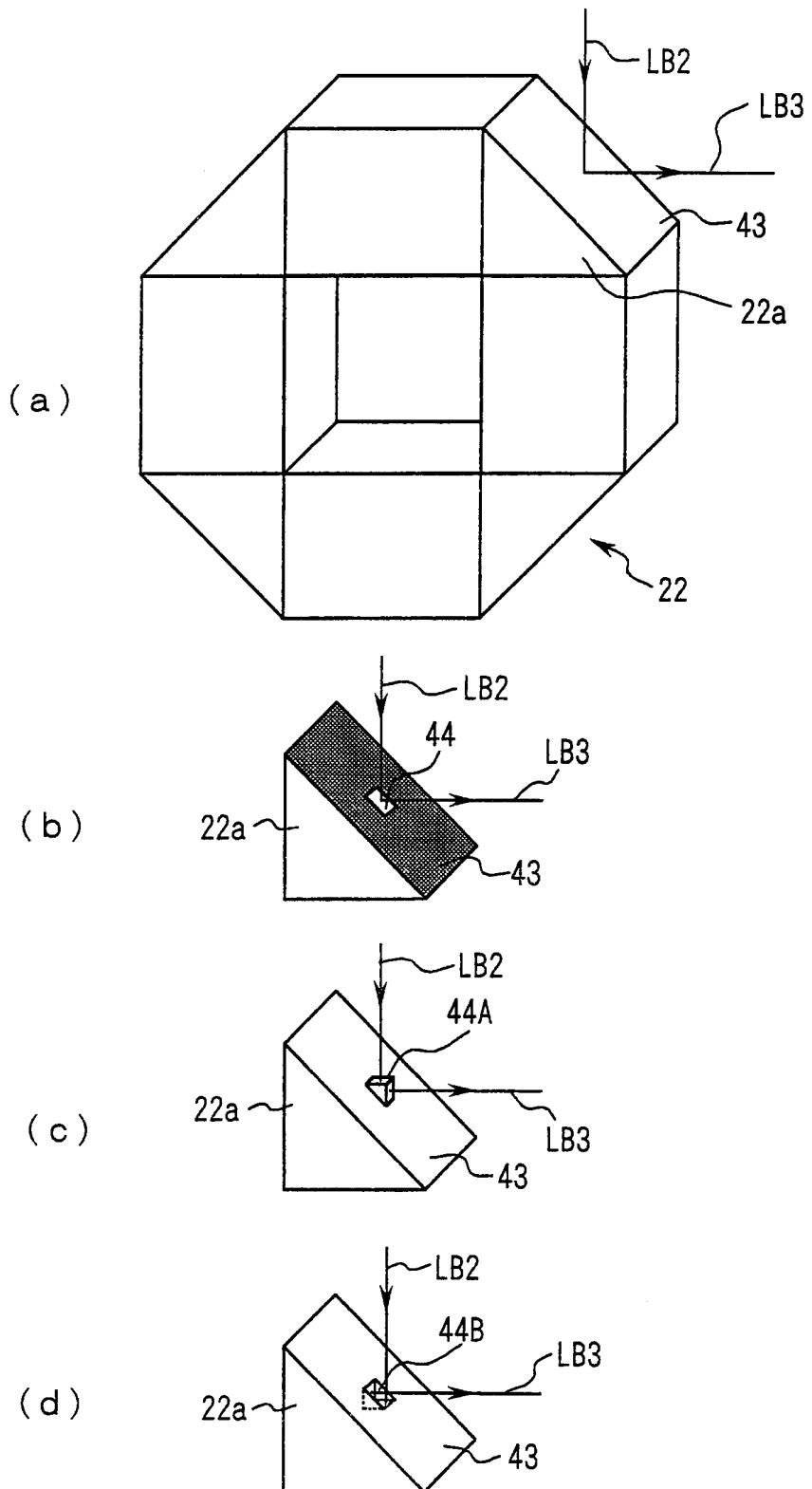
6/16

図 7



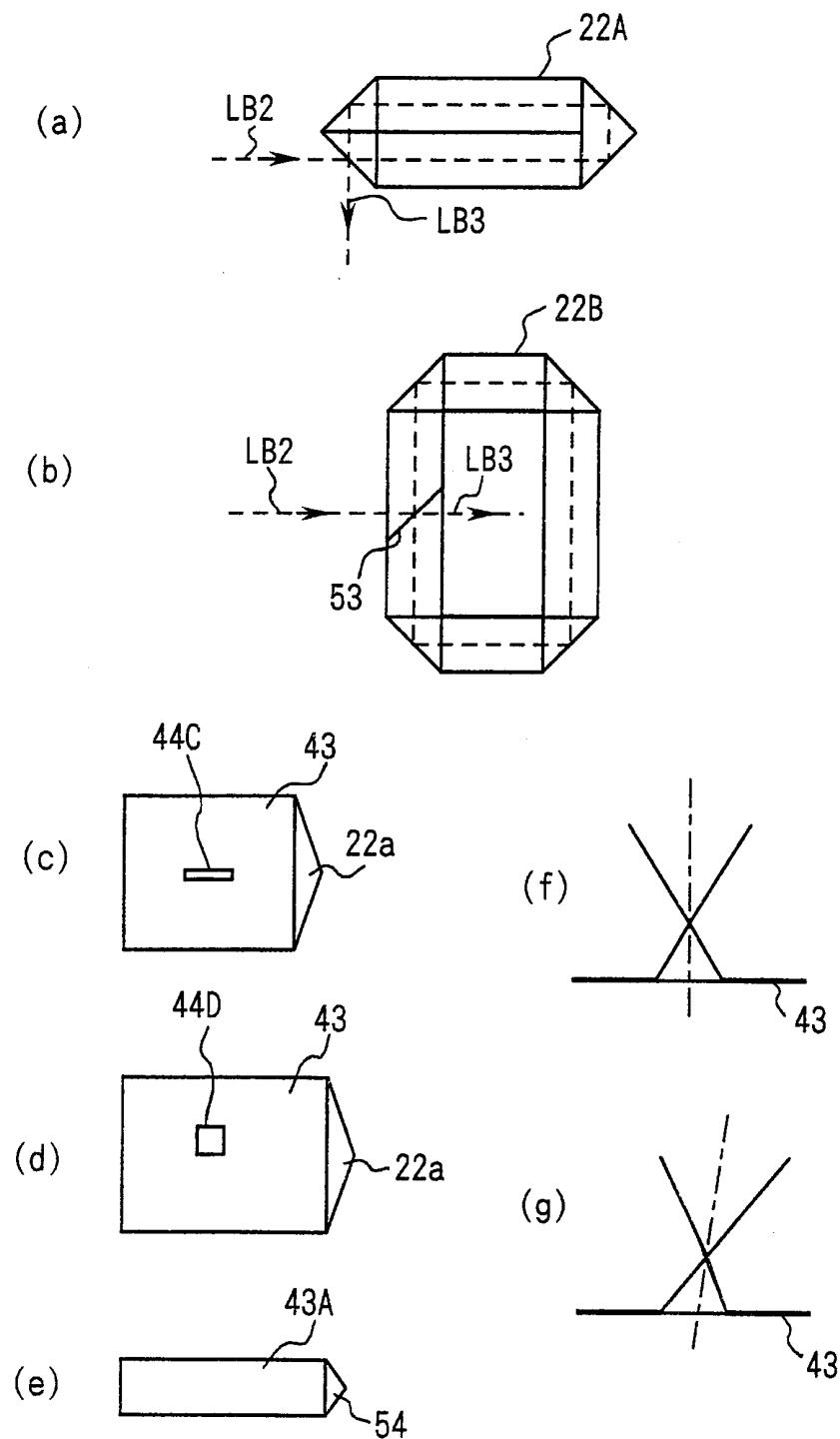
7/16

図 8



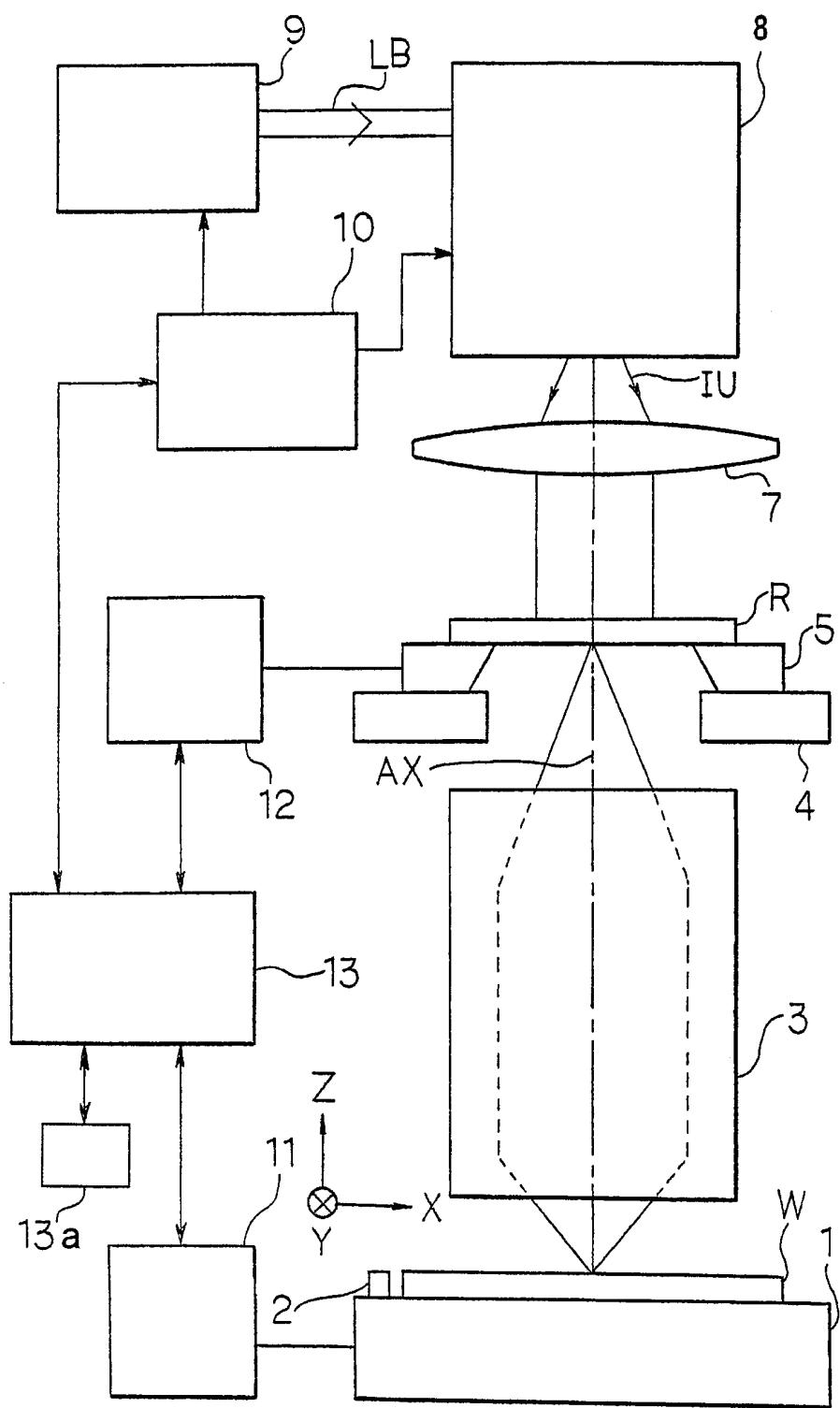
8/16

図 9



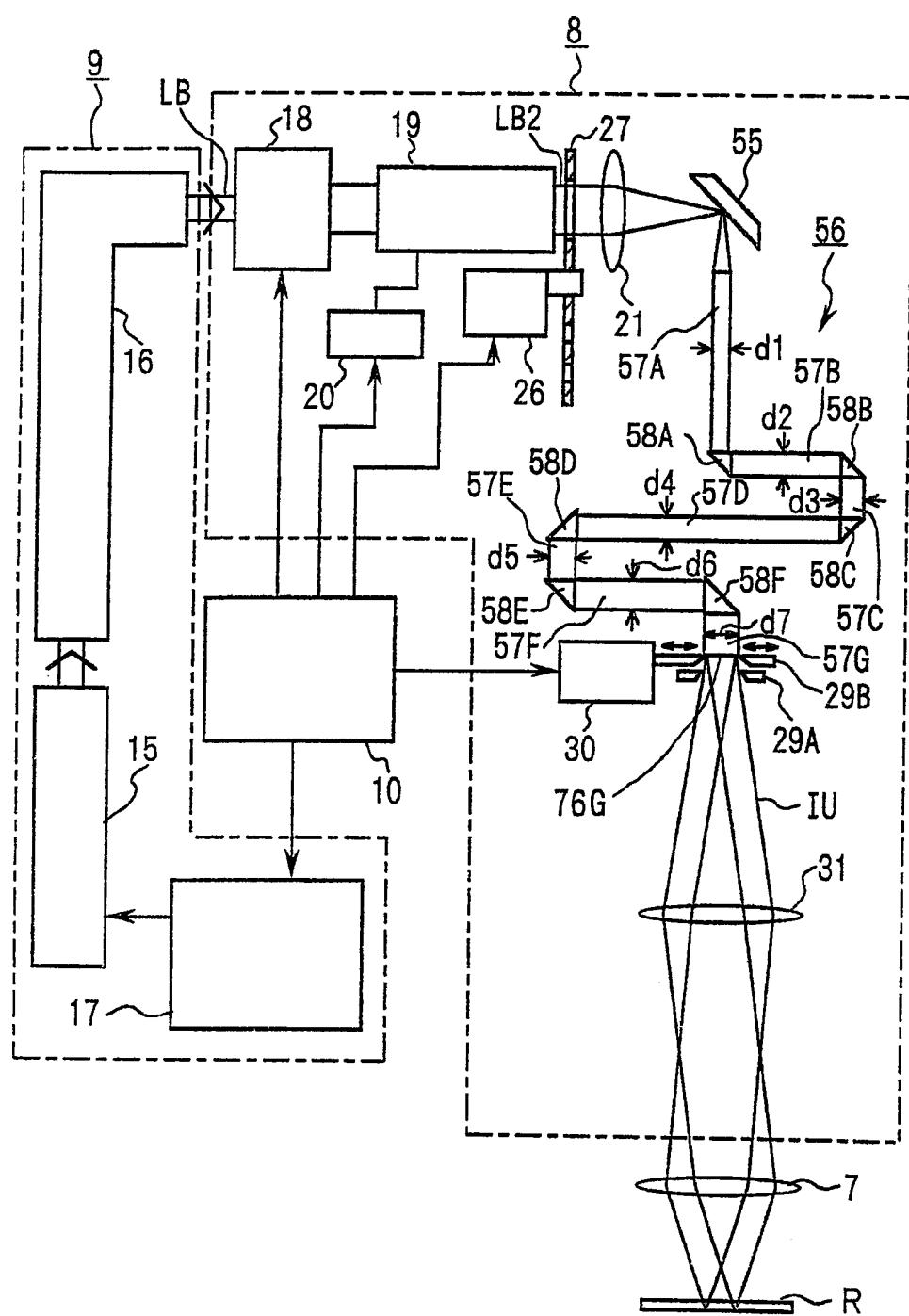
9/16

図 10



10/16

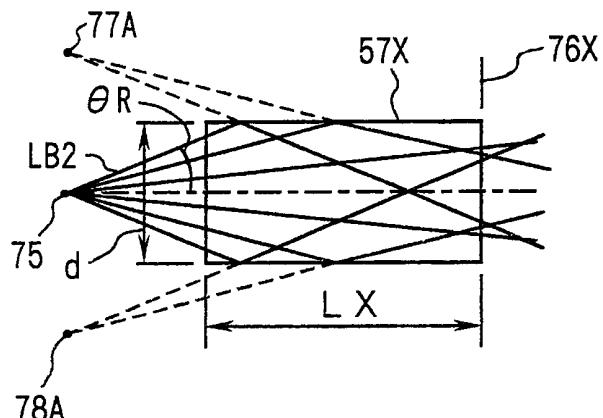
図 1 1



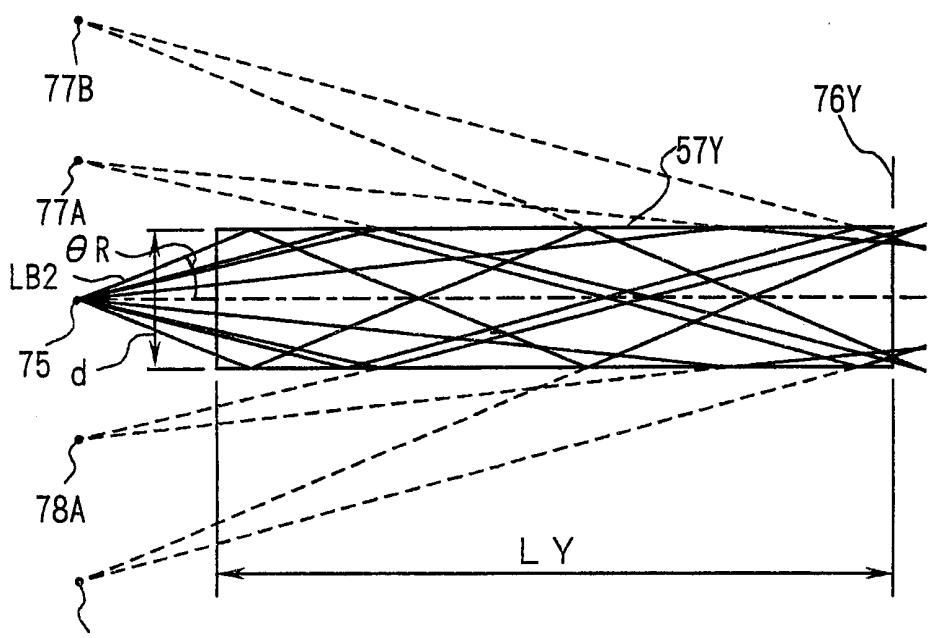
11/16

図 1 2

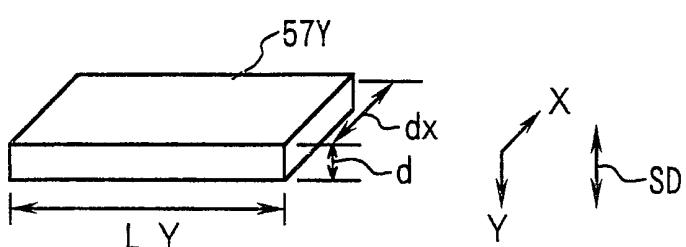
(a)



(b)

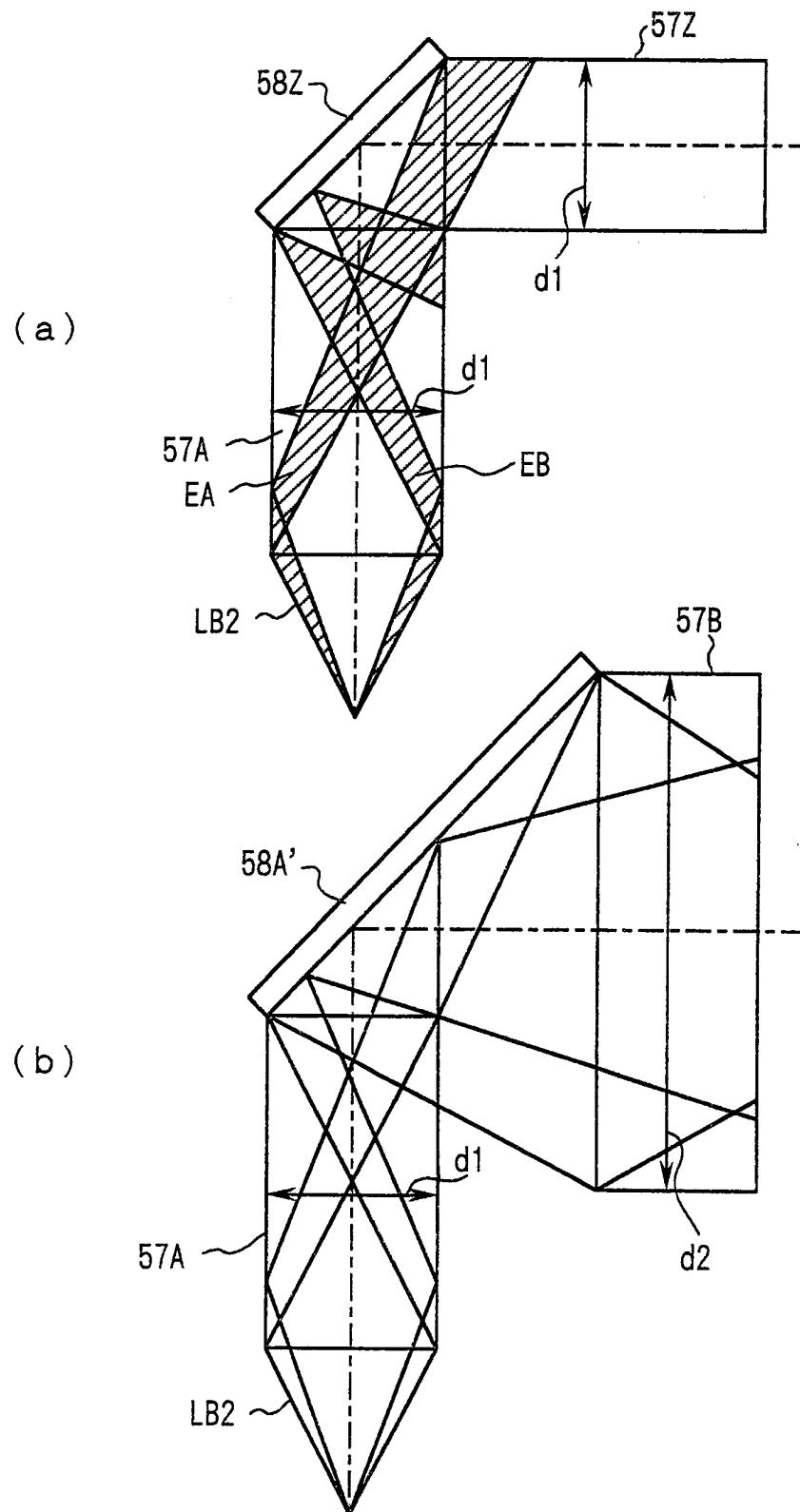


(c)



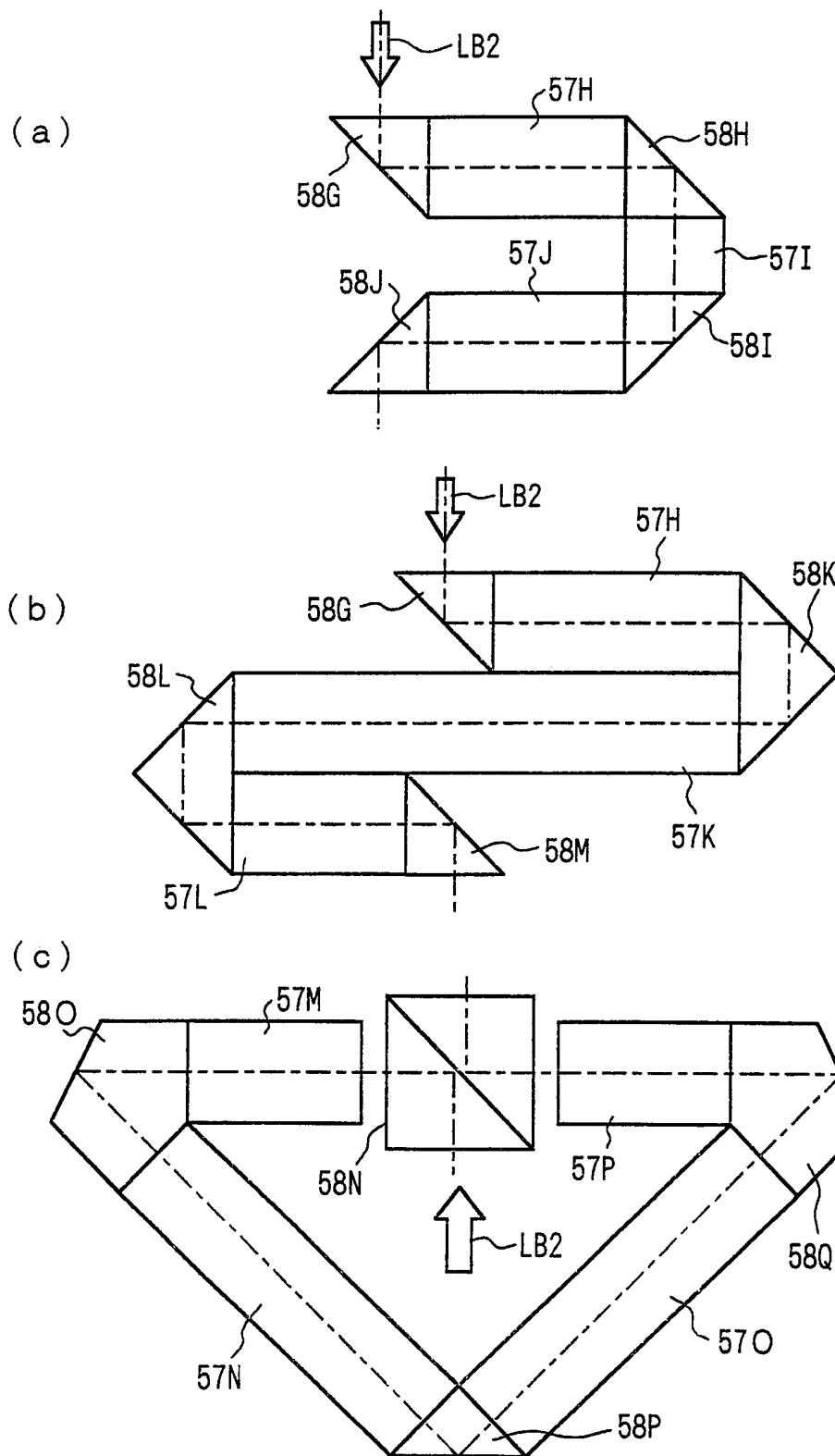
12/16

図 1 3



13/16

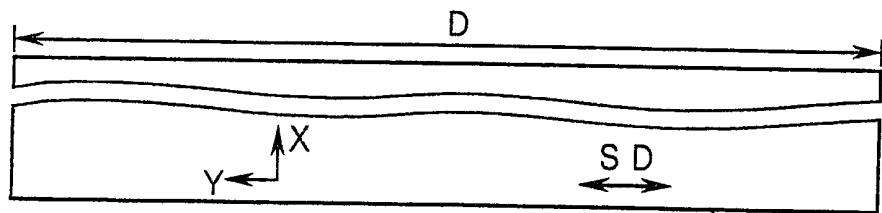
図 1 4



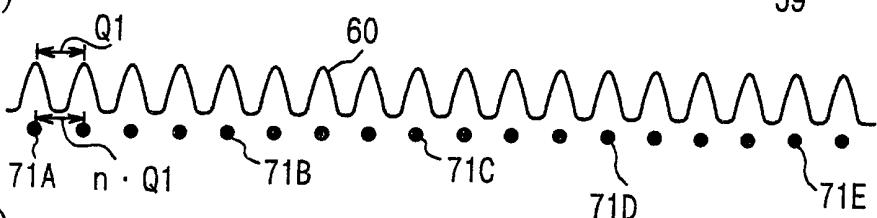
14/16

図 1 5

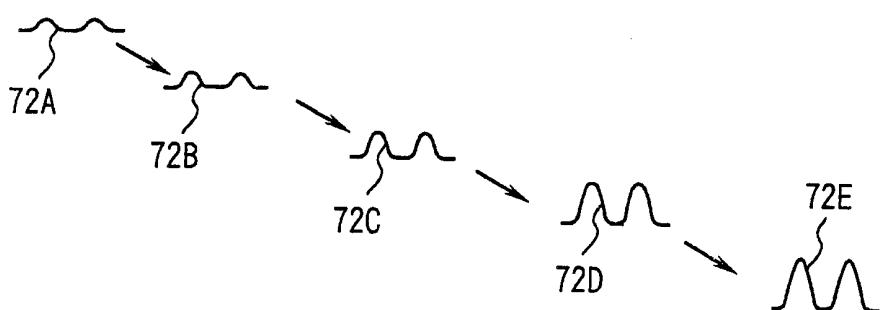
(a)



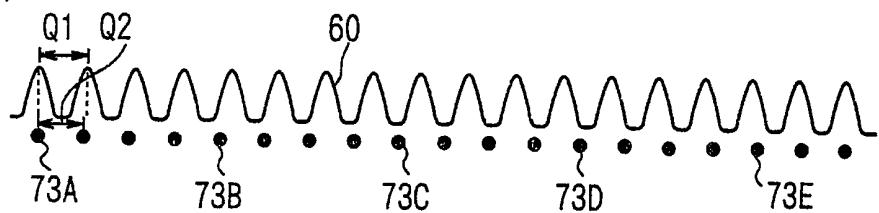
(b)



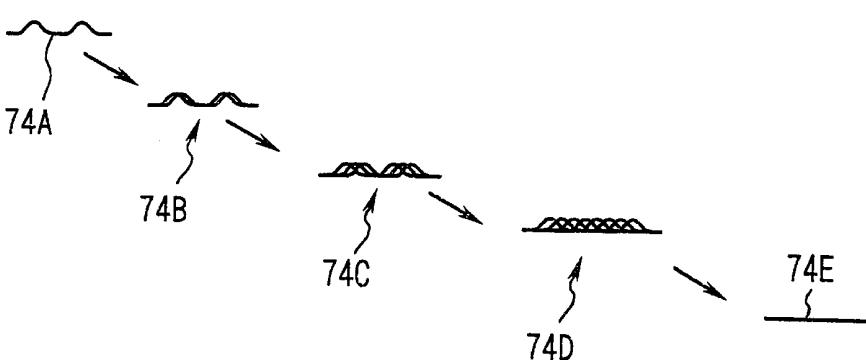
(c)



(d)



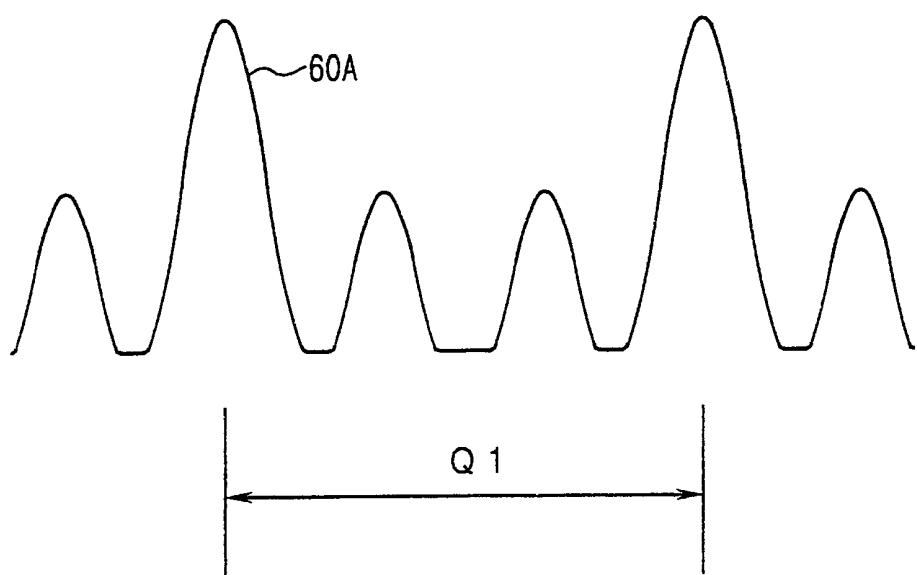
(e)



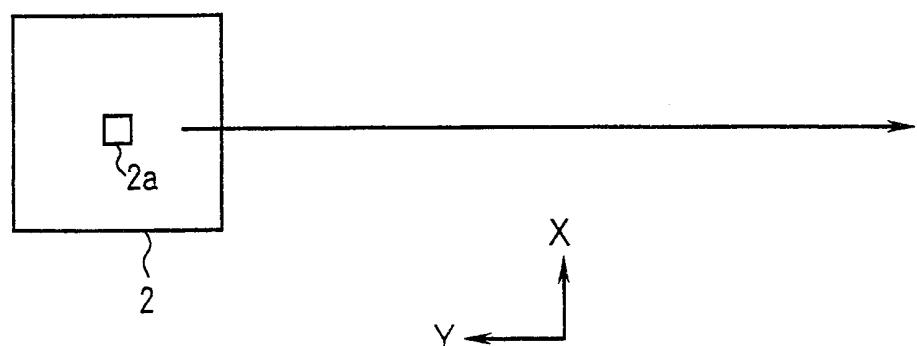
15/16

図 1 6

(a)

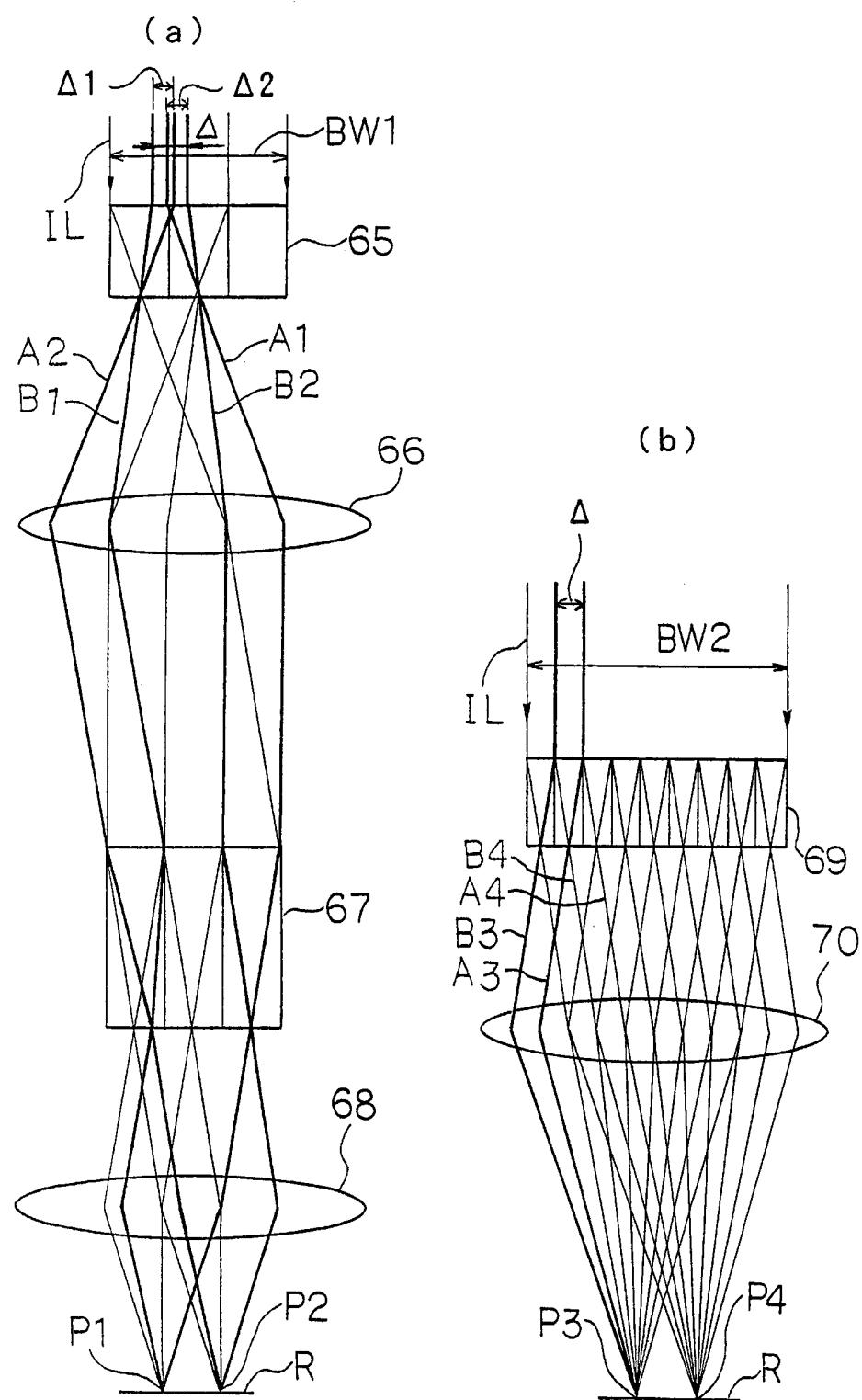


(b)



16/16

図 1 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/01642

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 63-73221, A (Nikon Corporation), 02 April, 1988 (02.04.88), Claims; Fig. 2 (Family: none)	1-11
A	JP, 1-198759, A (Nikon Corporation), 10 August, 1989 (10.08.89), Claims; Fig. 1 (Family: none)	1-11
A	US, 5636003, A (Nikon Corporation), 03 June, 1997 (03.06.97), page 1	12,13,16-19
A	& JP, 6-196389, A page 1	12,13,16-19
A	US, 5048926, A (Nikon Corporation), 17 September, 1991 (17.09.91), page 1	12,13,16-19
A	& JP, 1-220825, A page 1	12,13,16-19
	JP, 3-295222, A (Canon Inc.), 26 December, 1991 (26.12.91),	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

- * Special categories of cited documents:
- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
13 June, 2000 (13.06.00)

Date of mailing of the international search report
27 June, 2000 (27.06.00)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/01642

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Claims; Fig. 5 (Family: none) JP, 9-180993, A (Canon Inc.), 11 July, 1997 (11.07.97), page 1 (Family: none)	12, 13, 16-19
A		14, 15, 20

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP00/01642

A. 発明の属する分野の分類(国際特許分類(IPC))

Int. Cl' H01L21/027, G03F7/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料(国際特許分類(IPC))

Int. Cl' H01L21/027, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2000年

日本国登録実用新案公報 1994-2000年

日本国実用新案登録公報 1996-2000年

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

WPI/L, INSPEC

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, 63-73221, A (株式会社ニコン) 2. 4月. 1988 (02. 04. 88) 特許請求の範囲, 第2図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP, 1-198759, A (株式会社ニコン) 10. 8月. 1989 (10. 08. 89) 特許請求の範囲, 第1図 (ファミリーなし)	1-11

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

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 13. 06. 00	国際調査報告の発送日 27.06.00
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官(権限のある職員) 岩本 勉 2M 9355 電話番号 03-3581-1101 内線 3274

C (続き) . 関連すると認められる文献		関連する 請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
A	U.S., 5636003, A (Nikon Corporation) 3. 6月. 1997 (03. 06. 97) 1st page	12, 13, 16-19
A	& J.P., 6-196389, A 第1頁	12, 13, 16-19
A	U.S., 5048926, A (Nikon Corporation) 17. 9月. 1991 (17. 09. 91) 1st page	12, 13, 16-19
A	& J.P., 1-220825, A 第1頁	12, 13, 16-19
A	J.P., 3-295222, A (キャノン株式会社) 26. 12月. 1991 (26. 12. 91) 特許請求の範囲, 第5図 (ファミリーなし)	12, 13, 16-19
A	J.P., 9-180993, A (キャノン株式会社) 11. 7月. 1997 (11. 07. 97) 第1頁 (ファミリーなし)	14, 15, 20