

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-1244
(P2004-1244A)

(43) 公開日 平成16年1月8日(2004.1.8)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
B 4 1 J 2/44	B 4 1 J 3/21	2 C 1 6 2
B 4 1 J 2/45	G O 2 B 6/42	2 H O 3 7
B 4 1 J 2/455	G O 2 B 27/18	5 F O 7 3
G O 2 B 6/42	H O 1 S 5/06	
G O 2 B 27/18		

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 29 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2002-149886 (P2002-149886)	(71) 出願人	000005201 富士写真フイルム株式会社 神奈川県南足柄市中沼210番地
(22) 出願日	平成14年5月23日(2002.5.23)	(71) 出願人	000005430 富士写真光機株式会社 埼玉県さいたま市北区植竹町1丁目324番地
(31) 優先権主張番号	特願2002-108554 (P2002-108554)	(74) 代理人	100079049 弁理士 中島 淳
(32) 優先日	平成14年4月10日(2002.4.10)	(74) 代理人	100084995 弁理士 加藤 和詳
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100085279 弁理士 西元 勝一
		(74) 代理人	100099025 弁理士 福田 浩志

最終頁に続く

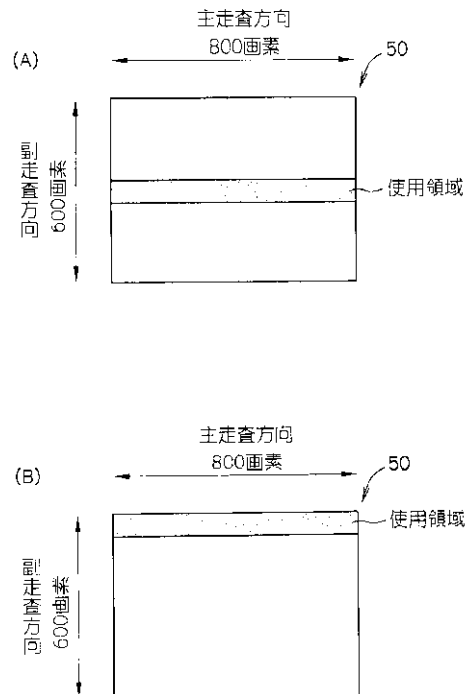
(54) 【発明の名称】 露光ヘッド及び露光装置

(57) 【要約】

【課題】空間光変調素子の変調速度を速くして、高速露光が可能な露光ヘッド及び露光装置を提供する。

【解決手段】露光ヘッドに使用されるDMD50には、主走査方向にマイクロミラーが800個配列されたマイクロミラー列が、副走査方向に600組配列されているが、コントローラにより一部のマイクロミラー列(例えば、800個×100列)だけが駆動されるように制御する。DMD50のデータ処理速度には限界があり、使用する画素数に比例して1ライン当りの変調速度が決定されるので、一部のマイクロミラー列だけを使用することで1ライン当りの変調速度が速くなる。

【選択図】 図16



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

露光面に対して所定方向と交差する方向に相対移動される露光ヘッドであって、レーザ光を照射するレーザ装置と、各々制御信号に応じて光変調状態が変化する多数の画素部が基板上に 2 次元状に配列され、前記レーザ装置から照射されたレーザ光を変調する空間光変調素子と、前記基板上に配列された画素部の全個数より少ない個数の複数の画素部の各々を、露光情報に応じて生成した制御信号によって制御する制御手段と、各画素部で変調されたレーザ光を露光面上に結像させる光学系と、を備えた露光ヘッド。

10

【請求項 2】

前記制御手段により制御される画素部は、前記所定方向に対応する方向の長さが前記所定方向と交差する方向の長さより長い領域に含まれる画素部である請求項 1 に記載の露光ヘッド。

【請求項 3】

前記レーザ装置を、コア径が均一で出射端のクラッド径が入射端のクラッド径より小さい光ファイバの入射端から入射されたレーザ光をその出射端から出射する複数のファイバ光源を備え、該複数のファイバ光源の出射端における発光点の各々がアレイ状に配列されたファイバアレイ光源又はバンドル状に配列したファイババンドル光源で構成した請求項 1 又は 2 に記載の露光ヘッド。

20

【請求項 4】

前記レーザ装置と前記空間変調素子との間に、前記レーザ装置からのレーザ光を平行光にするコリメータレンズと、光軸に近い中心部の光束幅に対する周辺部の光束幅の比が、入射側に比べて出射側の方が小さくなるように、各出射位置における光束幅を変化させ、前記コリメータレンズにより平行光化されたレーザ光の光量分布が、前記空間変調素子の被照射面において略均一になるように補正する光量分布補正光学系と、を配置した請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の露光ヘッド。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の露光ヘッドと、該露光ヘッドを露光面に対して所定方向と交差する方向に相対移動させる移動手段と、を備えた露光装置。

30

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、露光ヘッド及び露光装置に関し、特に、画像データに応じて空間光変調素子により変調された光ビームで感光材料を露光する露光ヘッドと、その露光ヘッドを備えた露光装置とに関する。

【0002】**【従来の技術】**

従来、デジタル・マイクロミラー・デバイス (DMD) 等の空間光変調素子を利用して、画像データに応じて変調された光ビームで画像露光を行う露光装置が種々提案されている。

40

【0003】

例えば、DMD は、制御信号に応じて反射面の角度が変化する多数のマイクロミラーが、シリコン等の半導体基板上に 2 次元状に配列されたミラーデバイスであり、この DMD を用いた露光装置は、図 15 (A) に示すように、レーザ光を照射する光源 1、光源 1 から照射されたレーザ光をコリメートするレンズ系 2、レンズ系 2 の略焦点位置に配置された DMD 3、DMD 3 で反射されたレーザ光を走査面 5 上に結像するレンズ系 4、6 から構成されている。

50

【0004】

上記の露光装置では、画像データ等に応じて生成した制御信号によって、DMD3のマイクロミラーの各々を図示しない制御装置でオンオフ制御してレーザ光を変調し、変調されたレーザ光で画像露光を行っている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、通常使用されているDMDは、基板上に、主走査方向に約800個、副走査方向に約600個のマイクロミラーを2次元状に配列して構成されており、1画素に相当する1つのマイクロミラーでレーザ光を変調するのに100~200 μ secの時間を必要とする。

【0006】

このため、例えば、主走査方向に配列された複数の露光ヘッドを副走査方向に連続的に移動させながら、1主走査ライン当たり200 μ secで変調し、その間に露光ヘッドを副走査方向に2 μ m移動させる場合、500mm²の領域を露光するのに50秒程度の時間を要していた。即ち、DMDは変調速度が遅いので、空間変調素子としてDMDを用いた露光ヘッドでは高速の露光が困難である、という問題があった。

【0007】

本発明は上記問題を解決するために成されたものであり、本発明の目的は、空間光変調素子の変調速度を速くして、高速露光が可能な露光ヘッド及び露光装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために本発明の露光ヘッドは、露光面に対して所定方向と交差する方向に相対移動される露光ヘッドであって、レーザ光を照射するレーザ装置と、各々制御信号に応じて光変調状態が変化する多数の画素部が基板上に2次元状に配列され、前記レーザ装置から照射されたレーザ光を変調する空間光変調素子と、前記基板上に配列された画素部の全個数より少ない個数の複数の画素部の各々を、露光情報に応じて生成した制御信号によって制御する制御手段と、各画素部で変調されたレーザ光を露光面上に結像させる光学系と、を含んで構成したこと特徴としている。

【0009】

また、本発明の露光装置は、本発明の露光ヘッドと、該露光ヘッドを露光面に対して所定方向と交差する方向に相対移動させる移動手段と、を備えたこと特徴としている。この露光装置は、複数の露光ヘッドを備えたマルチヘッド方式の露光装置として構成することもできる。

【0010】

本発明の露光ヘッド及び露光装置は、空間光変調素子について、その基板上に配列された画素部の全個数より少ない個数の複数の画素部の各々を、露光情報に応じて生成した制御信号によって制御する。即ち、基板に配列された画素部の全部を制御することなく、一部の画素部を制御している。このため、制御する画素部の個数が少なくなり、制御信号の転送速度が全画素部の制御信号を転送する場合より短くなる。これによって、レーザ光の変調速度を速くすることができ、高速露光が可能になる。

【0011】

上記の露光ヘッドは、露光面に対して所定方向と交差する方向に相対移動されるが、前記制御手段により制御される画素部は、前記所定方向に対応する方向の長さが前記所定方向と交差する方向の長さより長い領域に含まれる画素部であることが好ましい。露光ヘッドの移動方向(副走査方向)と交差する方向に長い領域の画素部を使用することで、使用する露光ヘッドの数を減らすことができる。

【0012】

上記の露光ヘッドにおいて、前記レーザ装置を、光ファイバの入射端から入射されたレーザ光をその出射端から出射する複数のファイバ光源を備え、該複数のファイバ光源の出射

10

20

30

40

50

端における発光点の各々がアレイ状に配列されたファイバアレイ光源又はバンドル状に配列したファイババンドル光源で構成することができる。前記光ファイバとしては、コア径が均一で出射端のクラッド径が入射端のクラッド径より小さい光ファイバを用いるのが好ましい。

【0013】

ファイバアレイ光源やファイババンドル光源を構成する各ファイバ光源としては、レーザー光を合波して光ファイバに入射させる合波レーザー光源が好ましい。合波レーザー光源とすることで、高輝度、高出力を得ることができ、空間光変調素子の露光に好適である。特に、発振波長350～450nmの半導体レーザーは単一素子での高出力化が難しいが、合波により高出力化を図ることができる。

10

【0014】

また、同じ光出力を得るためにアレイ化する光ファイバの本数が少なくても済み、低コストである。更に、光ファイバの本数が少ないので、アレイ化した際の発光領域が更に小さくなる(高輝度化する)。

【0015】

例えば、ファイバ光源を、複数の半導体レーザーと、1本の光ファイバと、前記複数の半導体レーザーの各々から出射されたレーザービームを集光し、集光ビームを前記光ファイバの入射端に結合させる集光光学系と、で構成することができる。

【0016】

また、ファイバ光源を、所定方向に配列された複数の発光点を備えるマルチキャビティレーザーと、1本の光ファイバと、前記複数の発光点の各々から出射されたレーザービームを集光し、集光ビームを前記光ファイバの入射端に結合させる集光光学系と、で構成してもよい。更に、複数のマルチキャビティレーザーの発光点の各々から出射されたレーザービームを集光して1本の光ファイバに結合してもよい。

20

【0017】

空間変調素子としては、各々制御信号に応じて反射面の角度が変更可能な多数のマイクロミラーが基板上に2次元状に配列されて構成されたマイクロミラーデバイスや、各々制御信号に応じて透過光を遮断することが可能な多数の液晶セルが基板上に2次元状に配列されて構成された液晶シャッターアレイを用いることができる。

【0018】

また、レーザー装置と空間変調素子との間には、レーザー装置からのレーザー光(光束)を平行光(平行光束)にするコリメータレンズと、光軸に近い中心部の光束幅に対する周辺部の光束幅の比が、入射側に比べて出射側の方が小さくなるように、各出射位置における光束幅を変化させ、前記コリメータレンズにより平行光化(平行光束化)されたレーザー光の光量分布が、前記空間変調素子の被照射面において略均一になるように補正する光量分布補正光学系と、を配置するのが好ましい。

30

【0019】

この光量分布補正光学系によれば、例えば、入射側において同一の光束幅であった光が、出射側においては中央部の光束幅が周辺部に比べて大きくなり、逆に、周辺部の光束幅は中心部に比べて小さくなる。このように、中央部の光束を周辺部へと生かすことができるので、全体として光の利用効率を低下させずに、光量分布が略均一の光で空間変調素子を照明することができる。これにより、被露光面において露光ムラが発生せず、高画質な露光が可能になる。

40

【0020】

従来、紫外領域のレーザー光で感光材料を露光する露光装置(紫外露光装置)には、アルゴンレーザー等のガスレーザー、THG(第3高調波)による固体レーザーが使用されるのが一般的であったが、装置が大型でメンテナンスが面倒であり、露光速度が遅いという問題があった。本発明の露光装置は、レーザー装置に波長350～450nmのGaN(窒化ガリウム)系半導体レーザーを用いることにより紫外露光装置とすることができる。この紫外露光装置によれば、従来の紫外露光装置に比べて、装置の小型化、低コスト化を図ることができ

50

ると共に、高速露光が可能となる。

【0021】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

[露光装置の構成]

本発明の実施の形態に係る露光装置は、図1に示すように、シート状の感光材料150を表面に吸着して保持する平板状のステージ152を備えている。4本の脚部154に支持された厚い板状の設置台156の上には、ステージ移動方向に沿って延びた2本のガイド158が設置されている。ステージ152は、その長手方向がステージ移動方向を向くように配置されると共に、ガイド158によって往復移動可能に支持されている。なお、この露光装置には、ステージ152をガイド158に沿って駆動するための図示しない駆動装置が設けられている。

10

【0022】

設置台156の中央部には、ステージ152の移動経路を跨ぐようにコ字状のゲート160が設けられている。コ字状のゲート160の端部の各々は、設置台156の両側面に固定されている。このゲート160を挟んで一方の側にはスキャナ162が設けられ、他方の側には感光材料150の先端及び後端を検知する複数(例えば、2個)の検知センサ164が設けられている。スキャナ162及び検知センサ164はゲート160に各々取り付けられて、ステージ152の移動経路の上方に固定配置されている。なお、スキャナ162及び検知センサ164は、これらを制御する図示しないコントローラに接続されている。

20

【0023】

スキャナ162は、図2及び図3(B)に示すように、m行n列(例えば、3行5列)の略マトリックス状に配列された複数(例えば、14個)の露光ヘッド166を備えている。この例では、感光材料150の幅との関係で、3行目には4個の露光ヘッド166を配置した。なお、m行目のn列目に配列された個々の露光ヘッドを示す場合は、露光ヘッド166_{m n}と表記する。

【0024】

露光ヘッド166による露光エリア168は、副走査方向を短辺とする矩形形状である。従って、ステージ152の移動に伴い、感光材料150には露光ヘッド166毎に帯状の露光済み領域170が形成される。なお、m行目のn列目に配列された個々の露光ヘッドによる露光エリアを示す場合は、露光エリア168_{m n}と表記する。

30

【0025】

また、図3(A)及び(B)に示すように、帯状の露光済み領域170が副走査方向と直交する方向に隙間無く並ぶように、ライン状に配列された各行の露光ヘッドの各々は、配列方向に所定間隔(露光エリアの長辺の自然数倍、本実施の形態では2倍)ずらして配置されている。このため、1行目の露光エリア168_{1 1}と露光エリア168_{1 2}との間の露光できない部分は、2行目の露光エリア168_{2 1}と3行目の露光エリア168_{3 1}とにより露光することができる。

【0026】

露光ヘッド166_{1 1}~166_{m n}各々は、図4、図5(A)及び(B)に示すように、入射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間光変調素子として、デジタル・マイクロミラー・デバイス(DMD)50を備えている。このDMD50は、データ処理部とミラー駆動制御部とを備えた図示しないコントローラに接続されている。このコントローラのデータ処理部では、入力された画像データに基づいて、各露光ヘッド166毎にDMD50の制御すべき領域内の各マイクロミラーを駆動制御する制御信号を生成する。なお、制御すべき領域については後述する。また、ミラー駆動制御部では、画像データ処理部で生成した制御信号に基づいて、各露光ヘッド166毎にDMD50の各マイクロミラーの反射面の角度を制御する。なお、反射面の角度の制御に付いては後述する。

40

50

【0027】

DMD50の光入射側には、光ファイバの出射端部（発光点）が露光エリア168の長辺方向と対応する方向に沿って一列に配列されたレーザ出射部を備えたファイバアレイ光源66、ファイバアレイ光源66から出射されたレーザ光を補正してDMD上に集光させるレンズ系67、レンズ系67を透過したレーザ光をDMD50に向けて反射するミラー69がこの順に配置されている。

【0028】

レンズ系67は、ファイバアレイ光源66から出射されたレーザ光を平行光化する1対の組合せレンズ71、平行光化されたレーザ光の光量分布が均一になるように補正する1対の組合せレンズ73、及び光量分布が補正されたレーザ光をDMD上に集光する集光レンズ75で構成されている。組合せレンズ73は、レーザ出射端の配列方向に対しては、レンズの光軸に近い部分は光束を広げ且つ光軸から離れた部分は光束を縮め、且つこの配列方向と直交する方向に対しては光をそのまま通過させる機能を備えており、光量分布が均一となるようにレーザ光を補正する。

10

【0029】

また、DMD50の光反射側には、DMD50で反射されたレーザ光を感光材料150の走査面（被露光面）56上に結像するレンズ系54、58が配置されている。レンズ系54及び58は、DMD50と被露光面56とが共役な関係となるように配置されている。

【0030】

DMD50は、図6に示すように、SRAMセル（メモリセル）60上に、微小ミラー（マイクロミラー）62が支柱により支持されて配置されたものであり、画素（ピクセル）を構成する多数の（例えば、600個×800個）の微小ミラーを格子状に配列して構成されたミラーデバイスである。各ピクセルには、最上部に支柱に支えられたマイクロミラー62が設けられており、マイクロミラー62の表面にはアルミニウム等の反射率の高い材料が蒸着されている。なお、マイクロミラー62の反射率は90%以上である。また、マイクロミラー62の直下には、ヒンジ及びヨークを含む支柱を介して通常の半導体メモリの製造ラインで製造されるシリコンゲートのCMOSのSRAMセル60が配置されており、全体はモノリシック（一体型）に構成されている。

20

【0031】

DMD50のSRAMセル60にデジタル信号が書き込まれると、支柱に支えられたマイクロミラー62が、対角線を中心としてDMD50が配置された基板側に対して±度（例えば±10度）の範囲で傾けられる。図7（A）は、マイクロミラー62がオン状態である+度に傾いた状態を示し、図7（B）は、マイクロミラー62がオフ状態である-度に傾いた状態を示す。従って、画像信号に応じて、DMD50の各ピクセルにおけるマイクロミラー62の傾きを、図6に示すように制御することによって、DMD50に入射された光はそれぞれのマイクロミラー62の傾き方向へ反射される。

30

【0032】

なお、図6には、DMD50の一部を拡大し、マイクロミラー62が+度又は-度に制御されている状態の一例を示す。それぞれのマイクロミラー62のオンオフ制御は、DMD50に接続された図示しないコントローラによって行われる。なお、オフ状態のマイクロミラー62により光ビームが反射される方向には、光吸収体（図示せず）が配置されている。

40

【0033】

また、DMD50は、その短辺が副走査方向と所定角度（例えば、1°～5°）を成すように僅かに傾斜させて配置するのが好ましい。図8（A）はDMD50を傾斜させない場合の各マイクロミラーによる反射光像（露光ビーム）53の走査軌跡を示し、図8（B）はDMD50を傾斜させた場合の露光ビーム53の走査軌跡を示している。

【0034】

DMD50には、長手方向にマイクロミラーが多数個（例えば、800個）配列されたマイクロミラー列が、短手方向に多数組（例えば、600組）配列されているが、図8（B

50

)に示すように、DMD50を傾斜させることにより、各マイクロミラーによる露光ビーム53の走査軌跡(走査線)のピッチ P_1 が、DMD50を傾斜させない場合の走査線のピッチ P_2 より狭くなり、解像度を大幅に向上させることができる。一方、DMD50の傾斜角は微小であるので、DMD50を傾斜させた場合の走査幅 W_2 と、DMD50を傾斜させない場合の走査幅 W_1 とは略同一である。

【0035】

また、異なるマイクロミラー列により同じ走査線上が重ねて露光(多重露光)されることになる。このように、多重露光されることで、露光位置の微少量をコントロールすることができ、高精細な露光を実現することができる。また、主走査方向に配列された複数の露光ヘッドの間のつなぎ目を微少量の露光位置制御により段差無くつなぐことができる。

10

【0036】

なお、DMD50を傾斜させる代わりに、各マイクロミラー列を副走査方向と直交する方向に所定間隔ずらして千鳥状に配置しても、同様の効果を得ることができる。

【0037】

ファイバアレイ光源66は、図9(A)に示すように、複数(例えば、6個)のレーザモジュール64を備えており、各レーザモジュール64には、マルチモード光ファイバ30の一端が結合されている。マルチモード光ファイバ30の他端には、コア径がマルチモード光ファイバ30と同一で且つクラッド径がマルチモード光ファイバ30より小さい光ファイバ31が結合され、図9(C)に示すように、光ファイバ31の出射端部(発光点)が副走査方向と直交する主走査方向に沿って1列に配列されてレーザ出射部68が構成されている。なお、図9(D)に示すように、発光点を主走査方向に沿って2列に配列することもできる。

20

【0038】

光ファイバ31の出射端部は、図9(B)に示すように、表面が平坦な2枚の支持板65に挟み込まれて固定されている。また、光ファイバ31の光出射側には、光ファイバ31の端面を保護するために、ガラス等の透明な保護板63が配置されている。保護板63は、光ファイバ31の端面と密着させて配置してもよく、光ファイバ31の端面が密封されるように配置してもよい。光ファイバ31の出射端部は、光密度が高く集塵し易く劣化し易いが、保護板63を配置することにより端面への塵埃の付着を防止することができる。共に劣化を遅らせることができる。

30

【0039】

この例では、クラッド径が小さい光ファイバ31の出射端を隙間無く1列に配列するために、クラッド径が大きい部分で隣接する2本のマルチモード光ファイバ30の間にマルチモード光ファイバ30を積み重ね、積み重ねられたマルチモード光ファイバ30に結合された光ファイバ31の出射端が、クラッド径が大きい部分で隣接する2本のマルチモード光ファイバ30に結合された光ファイバ31の2つの出射端の間に挟まれるように配列されている。

【0040】

このような光ファイバは、例えば、図10に示すように、クラッド径が大きいマルチモード光ファイバ30のレーザ光出射側の先端部分に、長さ1~30cmのクラッド径が小さい光ファイバ31を同軸的に結合することにより得ることができる。2本の光ファイバは、光ファイバ31の入射端面が、マルチモード光ファイバ30の出射端面に、両光ファイバの中心軸が一致するように融着されて結合されている。上述した通り、光ファイバ31のコア31aの径は、マルチモード光ファイバ30のコア30aの径と同じ大きさである。

40

【0041】

また、長さが短くクラッド径が大きい光ファイバにクラッド径が小さい光ファイバを融着させた短尺光ファイバを、フェルールや光コネクタ等を介してマルチモード光ファイバ30の出射端に結合してもよい。コネクタ等を用いて着脱可能に結合することで、クラッド径が小さい光ファイバが破損した場合等に先端部分の交換が容易になり、露光ヘッドのメ

50

メンテナンスに要するコストを低減できる。なお、以下では、光ファイバ31を、マルチモード光ファイバ30の出射端部と称する場合がある。

【0042】

マルチモード光ファイバ30及び光ファイバ31としては、ステップインデックス型光ファイバ、グレーテッドインデックス型光ファイバ、及び複合型光ファイバの何れでもよい。例えば、三菱電線工業株式会社製のステップインデックス型光ファイバを用いることができる。本実施の形態では、マルチモード光ファイバ30及び光ファイバ31は、ステップインデックス型光ファイバであり、マルチモード光ファイバ30は、クラッド径 = 125 μm 、コア径 = 25 μm 、NA = 0.2、入射端面コートの透過率 = 99.5%以上であり、光ファイバ31は、クラッド径 = 60 μm 、コア径 = 25 μm 、NA = 0.2である。

10

【0043】

一般に、赤外領域のレーザ光では、光ファイバのクラッド径を小さくすると伝搬損失が増加する。このため、レーザ光の波長帯域に応じて好適なクラッド径が決定されている。しかしながら、波長が短いほど伝搬損失は少なくなり、GaN系半導体レーザから出射された波長405nmのレーザ光では、クラッドの厚み{(クラッド径 - コア径) / 2}を800nmの波長帯域の赤外光を伝搬させる場合の1/2程度、通信用の1.5 μm の波長帯域の赤外光を伝搬させる場合の約1/4にしても、伝搬損失は殆ど増加しない。従って、クラッド径を60 μm と小さくすることができる。

【0044】

但し、光ファイバ31のクラッド径は60 μm には限定されない。従来のファイバ光源に使用されている光ファイバのクラッド径は125 μm であるが、クラッド径が小さくなるほど焦点深度がより深くなるので、マルチモード光ファイバのクラッド径は80 μm 以下が好ましく、60 μm 以下がより好ましく、40 μm 以下が更に好ましい。一方、コア径は少なくとも3 ~ 4 μm 必要であることから、光ファイバ31のクラッド径は10 μm 以上が好ましい。

20

【0045】

レーザモジュール64は、図11に示す合波レーザ光源(ファイバ光源)によって構成されている。この合波レーザ光源は、ヒートブロック10上に配列固定された複数(例えば、7個)のチップ状の横マルチモード又はシングルモードのGaN系半導体レーザLD1, LD2, LD3, LD4, LD5, LD6, 及びLD7と、GaN系半導体レーザLD1 ~ LD7の各々に対応して設けられたコリメータレンズ11, 12, 13, 14, 15, 16, 及び17と、1つの集光レンズ20と、1本のマルチモード光ファイバ30と、から構成されている。なお、半導体レーザの個数は7個には限定されない。例えば、クラッド径 = 60 μm 、コア径 = 50 μm 、NA = 0.2のマルチモード光ファイバには、20個もの半導体レーザ光を入射することが可能であり、露光ヘッドの必要光量を実現して、且つ光ファイバ本数をより減らすことができる。

30

【0046】

GaN系半導体レーザLD1 ~ LD7は、発振波長が総て共通(例えば、405nm)であり、最大出力も総て共通(例えば、マルチモードレーザでは100mW、シングルモードレーザでは30mW)である。なお、GaN系半導体レーザLD1 ~ LD7としては、350nm ~ 450nmの波長範囲で、上記の405nm以外の発振波長を備えるレーザを用いてもよい。

40

【0047】

上記の合波レーザ光源は、図12及び図13に示すように、他の光学要素と共に、上方が開いた箱状のパッケージ40内に収納されている。パッケージ40は、その開口を閉じるように作成されたパッケージ蓋41を備えており、脱気処理後に封止ガスを導入し、パッケージ40の開口をパッケージ蓋41で閉じることにより、パッケージ40とパッケージ蓋41とにより形成される閉空間(封止空間)内に上記合波レーザ光源が気密封止されている。

50

【 0 0 4 8 】

パッケージ 4 0 の底面にはベース板 4 2 が固定されており、このベース板 4 2 の上面には、前記ヒートブロック 1 0 と、集光レンズ 2 0 を保持する集光レンズホルダー 4 5 と、マルチモード光ファイバ 3 0 の入射端部を保持するファイバホルダー 4 6 とが取り付けられている。マルチモード光ファイバ 3 0 の出射端部は、パッケージ 4 0 の壁面に形成された開口からパッケージ外に引き出されている。

【 0 0 4 9 】

また、ヒートブロック 1 0 の側面にはコリメータレンズホルダー 4 4 が取り付けられており、コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 が保持されている。パッケージ 4 0 の横壁面には開口が形成され、この開口を通して G a N 系半導体レーザ L D 1 ~ L D 7 に駆動電流を供給する配線 4 7 がパッケージ外に引き出されている。

10

【 0 0 5 0 】

なお、図 1 3 においては、図の煩雑化を避けるために、複数の G a N 系半導体レーザのうち G a N 系半導体レーザ L D 7 にのみ番号を付し、複数のコリメータレンズのうちコリメータレンズ 1 7 にのみ番号を付している。

【 0 0 5 1 】

図 1 4 は、上記コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 の取り付け部分の正面形状を示すものである。コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 の各々は、非球面を備えた円形レンズの光軸を含む領域を平行な平面で細長く切り取った形状に形成されている。この細長形状のコリメータレンズは、例えば、樹脂又は光学ガラスをモールド成形することによって形成することができる。

コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 は、長さ方向が G a N 系半導体レーザ L D 1 ~ L D 7 の発光点の配列方向（図 1 4 の左右方向）と直交するように、上記発光点の配列方向に密接配置されている。

20

【 0 0 5 2 】

一方、G a N 系半導体レーザ L D 1 ~ L D 7 としては、発光幅が $2 \mu\text{m}$ の活性層を備え、活性層と平行な方向、直角な方向の拡がり角が各々例えば 10° 、 30° の状態で各々レーザビーム B 1 ~ B 7 を発するレーザが用いられている。これら G a N 系半導体レーザ L D 1 ~ L D 7 は、活性層と平行な方向に発光点が 1 列に並ぶように配設されている。

【 0 0 5 3 】

従って、各発光点から発せられたレーザビーム B 1 ~ B 7 は、上述のように細長形状の各コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 に対して、拡がり角度が大きい方向が長さ方向と一致し、拡がり角度が小さい方向が幅方向（長さ方向と直交する方向）と一致する状態で入射することになる。つまり、各コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 の幅が 1.1 mm 、長さが 4.6 mm であり、それらに入射するレーザビーム B 1 ~ B 7 の水平方向、垂直方向のビーム径は各々 0.9 mm 、 2.6 mm である。また、コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 の各々は、焦点距離 $f_1 = 3 \text{ mm}$ 、 $NA = 0.6$ 、レンズ配置ピッチ = 1.25 mm である。

30

【 0 0 5 4 】

集光レンズ 2 0 は、非球面を備えた円形レンズの光軸を含む領域を平行な平面で細長く切り取って、コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 の配列方向、つまり水平方向に長く、それと直角な方向に短い形状に形成されている。この集光レンズ 2 0 は、焦点距離 $f_2 = 23 \text{ mm}$ 、 $NA = 0.2$ である。この集光レンズ 2 0 も、例えば、樹脂又は光学ガラスをモールド成形することにより形成される。

40

【 0 0 5 5 】

[露光装置の動作]

次に、上記露光装置の動作について説明する。

【 0 0 5 6 】

スキャナ 1 6 2 の各露光ヘッド 1 6 6 において、ファイバアレイ光源 6 6 の合波レーザ光源を構成する G a N 系半導体レーザ L D 1 ~ L D 7 の各々から発散光状態で出射したレーザビーム B 1 , B 2 , B 3 , B 4 , B 5 , B 6 , 及び B 7 の各々は、対応するコリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 によって平行光化される。平行光化されたレーザビーム B 1 ~ B 7 は、

50

集光レンズ 20 によって集光され、マルチモード光ファイバ 30 のコア 30 a の入射端面に収束する。

【0057】

本例では、コリメータレンズ 11 ~ 17 及び集光レンズ 20 によって集光光学系が構成され、その集光光学系とマルチモード光ファイバ 30 とによって合波光学系が構成されている。即ち、集光レンズ 20 によって上述のように集光されたレーザビーム B1 ~ B7 が、このマルチモード光ファイバ 30 のコア 30 a に入射して光ファイバ内を伝搬し、1本のレーザビーム B に合波されてマルチモード光ファイバ 30 の出射端部に結合された光ファイバ 31 から出射する。

【0058】

各レーザモジュールにおいて、レーザビーム B1 ~ B7 のマルチモード光ファイバ 30 への結合効率が 0.85 で、GaN 系半導体レーザ LD1 ~ LD7 の各出力が 30 mW の場合には、アレイ状に配列された光ファイバ 31 の各々について、出力 180 mW (= 30 mW × 0.85 × 7) の合波レーザビーム B を得ることができる。従って、6本の光ファイバ 31 がアレイ状に配列されたレーザ出射部 68 での出力は約 1 W (= 180 mW × 6) である。

【0059】

ファイバアレイ光源 66 のレーザ出射部 68 には、この通り高輝度の発光点が主走査方向に沿って一列に配列されている。単一の半導体レーザからのレーザ光を1本の光ファイバに結合させる従来のファイバ光源は低出力であるため、多数列配列しなければ所望の出力を得ることができなかつたが、本実施の形態で使用する合波レーザ光源は高出力であるため、少数列、例えば1列でも所望の出力を得ることができる。

【0060】

例えば、半導体レーザと光ファイバを1対1で結合させた従来のファイバ光源では、通常、半導体レーザとしては出力 30 mW (ミリワット) 程度のレーザが使用され、光ファイバとしてはコア径 50 μm、クラッド径 125 μm、NA (開口数) 0.2 のマルチモード光ファイバが使用されているので、約 1 W (ワット) の出力を得ようとするれば、マルチモード光ファイバを 48 本 (8 × 6) 束ねなければならず、発光領域の面積は 0.62 m² (0.675 mm × 0.925 mm) であるから、レーザ出射部 68 での輝度は 1.6 × 10⁶ (W/m²)、光ファイバ1本当たりの輝度は 3.2 × 10⁶ (W/m²) である。

【0061】

これに対し、本実施の形態では、上述した通り、マルチモード光ファイバ 6 本で約 1 W の出力を得ることができ、レーザ出射部 68 での発光領域の面積は 0.0081 mm² (0.325 mm × 0.025 mm) であるから、レーザ出射部 68 での輝度は 123 × 10⁶ (W/m²) となり、従来に比べ約 80 倍の高輝度化を図ることができる。また、光ファイバ1本当たりの輝度は 90 × 10⁶ (W/m²) であり、従来に比べ約 28 倍の高輝度化を図ることができる。

【0062】

ここで、図 15 (A) 及び (B) を参照して、従来の露光ヘッドと本実施の形態の露光ヘッドとの焦点深度の違いについて説明する。従来の露光ヘッドのバンドル状ファイバ光源の発光領域の副走査方向の径は 0.675 mm であり、本実施の形態の露光ヘッドのファイバアレイ光源の発光領域の副走査方向の径は 0.025 mm である。図 15 (A) に示すように、従来の露光ヘッドでは、光源 (バンドル状ファイバ光源) 1 の発光領域が大きいので、DMD 3 へ入射する光束の角度が大きくなり、結果として走査面 5 へ入射する光束の角度が大きくなる。このため、集光方向 (ピント方向のずれ) に対してビーム径が太りやすい。

【0063】

一方、図 15 (B) に示すように、本実施の形態の露光ヘッドでは、ファイバアレイ光源 66 の発光領域の副走査方向の径が小さいので、レンズ系 67 を通過して DMD 50 へ入

10

20

30

40

50

射する光束の角度が小さくなり、結果として走査面56へ入射する光束の角度が小さくなる。即ち、焦点深度が深くなる。この例では、発光領域の副走査方向の径は従来の約30倍になっており、略回折限界に相当する焦点深度を得ることができる。従って、微小スポットの露光に好適である。この焦点深度への効果は、露光ヘッドの必要光量が大きいほど顕著であり、有効である。この例では、露光面に投影された1画素サイズは $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ である。なお、DMDは反射型の空間変調素子であるが、図15(A)及び(B)は、光学的な関係を説明するために展開図とした。

【0064】

露光パターンに応じた画像データが、DMD50に接続された図示しないコントローラに入力され、コントローラ内のフレームメモリに一旦記憶される。この画像データは、画像を構成する各画素の濃度を2値(ドットの記録の有無)で表したデータである。

10

【0065】

感光材料150を表面に吸着したステージ152は、図示しない駆動装置により、ガイド158に沿ってゲート160の上流側から下流側に一定速度で移動される。ステージ152がゲート160下を通過する際に、ゲート160に取り付けられた検知センサ164により感光材料150の先端が検出されると、フレームメモリに記憶された画像データが複数ライン分ずつ順次読み出され、データ処理部で読み出された画像データに基づいて各露光ヘッド166毎に制御信号が生成される。そして、ミラー駆動制御部により、生成された制御信号に基づいて各露光ヘッド166毎にDMD50のマイクロミラーの各々がオンオフ制御される。

20

【0066】

ファイバレイ光源66からDMD50にレーザ光が照射されると、DMD50のマイクロミラーがオン状態のときに反射されたレーザ光は、レンズ系54、58により感光材料150の被露光面56上に結像される。このようにして、ファイバレイ光源66から出射されたレーザ光が画素毎にオンオフされて、感光材料150がDMD50の使用画素数と略同数の画素単位(露光エリア168)で露光される。また、感光材料150がステージ152と共に一定速度で移動されることにより、感光材料150がスキャナ162によりステージ移動方向と反対の方向に副走査され、各露光ヘッド166毎に帯状の露光済み領域170が形成される。

【0067】

図16(A)及び(B)に示すように、本実施の形態では、DMD50には、主走査方向にマイクロミラーが800個配列されたマイクロミラー列が、副走査方向に600組配列されているが、本実施の形態では、コントローラにより一部のマイクロミラー列(例えば、800個 \times 100列)だけが駆動されるように制御する。

30

【0068】

図16(A)に示すように、DMD50の中央部に配置されたマイクロミラー列を使用してもよく、図16(B)に示すように、DMD50の端部に配置されたマイクロミラー列を使用してもよい。また、一部のマイクロミラーに欠陥が発生した場合は、欠陥が発生していないマイクロミラー列を使用するなど、状況に応じて使用するマイクロミラー列を適宜変更してもよい。

40

【0069】

DMD50のデータ処理速度には限界があり、使用する画素数に比例して1ライン当りの変調速度が決定されるので、一部のマイクロミラー列だけを使用することで1ライン当りの変調速度が速くなる。一方、連続的に露光ヘッドを露光面に対して相対移動させる露光方式の場合には、副走査方向の画素を全部使用する必要はない。

【0070】

例えば、600組のマイクロミラー列の内、300組だけ使用する場合には、600組全部を使用する場合と比較すると1ライン当り2倍速く変調することができる。また、600組のマイクロミラー列の内、200組だけ使用する場合には、600組全部を使用する場合と比較すると1ライン当り3倍速く変調することができる。即ち、副走査方向に500m

50

mの領域を17秒で露光できる。更に、100組だけを使用する場合には、1ライン当り6倍速く変調することができる。即ち、副走査方向に500mmの領域を9秒で露光できる。

【0071】

使用するマイクロミラー列の数、即ち、副走査方向に配列されたマイクロミラーの個数は、10以上で且つ200以下が好ましく、10以上で且つ100以下がより好ましい。1画素に相当するマイクロミラー1個当りの面積は $15\mu\text{m} \times 15\mu\text{m}$ であるから、DMD50の使用領域に換算すると、 $12\text{mm} \times 150\mu\text{m}$ 以上で且つ $12\text{mm} \times 3\text{mm}$ 以下の領域が好ましく、 $12\text{mm} \times 150\mu\text{m}$ 以上で且つ $12\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ 以下の領域がより好ましい。

10

【0072】

使用するマイクロミラー列の数が上記範囲にあれば、図17(A)及び(B)に示すように、ファイバアレイ光源66から出射されたレーザ光をレンズ系67で略平行光化して、DMD50に照射することができる。DMD50によりレーザ光を照射する照射領域は、DMD50の使用領域と一致することが好ましい。照射領域が使用領域よりも広いとレーザ光の利用効率が低下する。

【0073】

一方、DMD50上に集光させる光ビームの副走査方向の径を、レンズ系67により副走査方向に配列されたマイクロミラーの個数に応じて小さくする必要があるが、使用するマイクロミラー列の数が10未満であると、DMD50に入射する光束の角度が大きくなり、走査面56における光ビームの焦点深度が浅くなるので好ましくない。また、使用するマイクロミラー列の数が200以下が変調速度の観点から好ましい。なお、DMDは反射型の空間変調素子であるが、図17(A)及び(B)は、光学的な関係を説明するために展開図とした。

20

【0074】

スキャナ162による感光材料150の副走査が終了し、検知センサ164で感光材料150の後端が検出されると、ステージ152は、図示しない駆動装置により、ガイド158に沿ってゲート160の最上流側にある原点に復帰し、再度、ガイド158に沿ってゲート160の上流側から下流側に一定速度で移動される。

【0075】

以上説明した通り、本実施の形態の露光装置は、主走査方向にマイクロミラーが800個配列されたマイクロミラー列が、副走査方向に600組配列されたDMDを備えているが、コントローラにより一部のマイクロミラー列だけが駆動されるように制御するので、全部のマイクロミラー列を駆動する場合に比べて、1ライン当りの変調速度が速くなる。これにより高速での露光が可能になる。

30

【0076】

また、DMDを照明する光源に、合波レーザ光源の光ファイバの出射端部をアレイ状に配列した高輝度のファイバアレイ光源を用いているので、高出力で且つ深い焦点深度を備えた露光装置を実現することができる。更に、各ファイバ光源の出力が大きくなることで、所望の出力を得るために必要なファイバ光源数が少なくなり、露光装置の低コスト化が図られる。

40

【0077】

特に、本実施の形態では、光ファイバの出射端のクラッド径を入射端のクラッド径よりも小さくしているため、発光部径がより小さくなり、ファイバアレイ光源の高輝度化が図られる。これにより、より深い焦点深度を備えた露光装置を実現することができる。例えば、ビーム径 $1\mu\text{m}$ 以下、解像度 $0.1\mu\text{m}$ 以下の超高解像度露光の場合にも、深い焦点深度を得ることができ、高速且つ高精細な露光が可能となる。従って、高解像度が必要とされる薄膜トランジスタ(TFT)の露光工程に好適である。

【0078】

次に、以上説明した露光装置の変形例等について説明する。

50

【0079】

[露光装置の用途]

上記の露光装置は、例えば、プリント配線基板（PWB；Printed Wiring Board）の製造工程におけるドライ・フィルム・レジスト（DFR；Dry Film Resist）の露光、液晶表示装置（LCD）の製造工程におけるカラーフィルタの形成、TFTの製造工程におけるDFRの露光、プラズマ・ディスプレイ・パネル（PDP）の製造工程におけるDFRの露光等の用途に好適に用いることができる。

【0080】

更に、上記の露光装置は、レーザ照射により材料の一部を蒸発、飛散等させて除去するレーザアブレーションや焼結、リソグラフィ等の種々のレーザ加工にも使用することができる。上記の露光装置は、高出力であり、高速且つ長焦点深度での露光が可能であることから、レーザアブレーション等による微細加工に使用することができる。例えば、現像処理を行う代わりにレジストをアブレーションによりパターンに従って除去してPWBを作成したり、レジストを使用せずに直接アブレーションでPWBのパターンを形成するのに、上記の露光装置を使用することができる。また、多数の溶液の混合、反応、分離、検出などをガラスやプラスチックチップに集積したラボオンチップにおける、溝幅数十 μm の微小流路の形成にも使用することができる。

10

【0081】

特に、上記の露光装置は、ファイバアレイ光源にGaN系半導体レーザを用いているので、上述のレーザ加工に好適に使用することができる。即ち、GaN系半導体レーザは短パルス駆動が可能であり、レーザアブレーション等にも十分なパワーを得ることができる。また、半導体レーザであるため、駆動速度が遅い固体レーザと異なり、繰り返し周波数10MHz程度での高速駆動が可能であり、高速露光が可能である。更に、金属は波長400nm付近のレーザ光の光吸収率が大きく、熱エネルギーへの変換が容易であるため、レーザアブレーション等を高速に行うことができる。

20

【0082】

なお、TFTのパターニングに使用される液体レジストやカラーフィルタをパターニングするために使用される液体レジストを露光する場合には、酸素阻害による感度低下（減感）を無くすために、窒素雰囲気下で被露光材料を露光することが好ましい。窒素雰囲気下で露光することで光重合反応の酸素阻害が抑制されてレジストが高感度化し、高速露光が可能となる。

30

【0083】

また、上記の露光装置には、露光により直接情報が記録されるフォトンモード感光材料、露光により発生した熱で情報が記録されるヒートモード感光材料の何れも使用することができる。フォトンモード感光材料を使用する場合、レーザ装置にはGaN系半導体レーザ、波長変換固体レーザ等が使用され、ヒートモード感光材料を使用する場合、レーザ装置にはAlGaAs系半導体レーザ（赤外レーザ）、固体レーザが使用される。

【0084】

[他の空間変調素子]

上記の実施の形態では、DMDのマイクロミラーを部分的に駆動する例について説明したが、所定方向に対応する方向の長さが前記所定方向と交差する方向の長さより長い基板上に、各々制御信号に応じて反射面の角度が変更可能な多数のマイクロミラーが2次元状に配列された細長いDMDを用いても、反射面の角度を制御するマイクロミラーの個数が少なくなるので、同様に変調速度を速くすることができる。

40

【0085】

上記の実施の形態では、空間変調素子としてDMDを備えた露光ヘッドについて説明したが、例えば、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）タイプの空間変調素子（SLM；Spatial Light Modulator）や、電気光学効果により透過光を変調する光学素子（PLZT素子）や液晶光シャッタ（FLC）等、MEMSタイプ以外の空間変調素子を用いた場合にも、基板上に配列

50

された全画素部に対し一部の画素部を使用することで、1画素当り、1主走査ライン当たりの変調速度を速くすることができるので、同様の効果を得ることができる。

【0086】

なお、MEMSとは、IC製造プロセスを基盤としたマイクロマシニング技術によるマイクロサイズのセンサ、アクチュエータ、そして制御回路を集積化した微細システムの総称であり、MEMSタイプの空間変調素子とは、静電気力を利用した電気機械動作により駆動される空間変調素子を意味している。

【0087】

[他の露光方式]

図18に示すように、上記の実施の形態と同様に、スキャナ162によるX方向への1回の走査で感光材料150の全面を露光してもよく、図19(A)及び(B)に示すように、スキャナ162により感光材料150をX方向へ走査した後、スキャナ162をY方向に1ステップ移動し、X方向へ走査を行うというように、走査と移動を繰り返して、複数回の走査で感光材料150の全面を露光するようにしてもよい。なお、この例では、スキャナ162は18個の露光ヘッド166を備えている。

10

【0088】

[他のレーザ装置(光源)]

上記の実施の形態では、合波レーザ光源を複数備えたファイバアレイ光源を用いる例について説明したが、レーザ装置は、合波レーザ光源をアレイ化したファイバアレイ光源には限定されない。例えば、1個の発光点を有する単一の半導体レーザから入射されたレーザ光を出射する1本の光ファイバを備えたファイバ光源をアレイ化したファイバアレイ光源を用いることができる。

20

【0089】

また、複数の発光点を備えた光源としては、例えば、図20に示すように、ヒートブロック100上に、複数(例えば、7個)のチップ状の半導体レーザLD1~LD7を配列したレーザアレイを用いることができる。また、図21(A)に示す、複数(例えば、5個)の発光点110aが所定方向に配列されたチップ状のマルチキャビティレーザ110が知られている。マルチキャビティレーザ110は、チップ状の半導体レーザを配列する場合と比べ、発光点を位置精度良く配列できるので、各発光点から出射されるレーザビームを合波し易い。但し、発光点が多くなるとレーザ製造時にマルチキャビティレーザ110に撓みが発生し易くなるため、発光点110aの個数は5個以下とするのが好ましい。

30

【0090】

本発明の露光ヘッドでは、このマルチキャビティレーザ110や、図21(B)に示すように、ヒートブロック100上に、複数のマルチキャビティレーザ110が各チップの発光点110aの配列方向と同じ方向に配列されたマルチキャビティレーザアレイを、レーザ装置(光源)として用いることができる。

【0091】

また、合波レーザ光源は、複数のチップ状の半導体レーザから出射されたレーザ光を合波するものには限定されない。例えば、図22に示すように、複数(例えば、3個)の発光点110aを有するチップ状のマルチキャビティレーザ110を備えた合波レーザ光源を用いることができる。この合波レーザ光源は、マルチキャビティレーザ110と、1本のマルチモード光ファイバ130と、集光レンズ120と、を備えて構成されている。マルチキャビティレーザ110は、例えば、発振波長が405nmのGaN系レーザダイオードで構成することができる。

40

【0092】

上記の構成では、マルチキャビティレーザ110の複数の発光点110aの各々から出射したレーザビームBの各々は、集光レンズ120によって集光され、マルチモード光ファイバ130のコア130aに入射する。コア130aに入射したレーザ光は、光ファイバ内を伝搬し、1本に合波されて出射する。

【0093】

50

マルチキャビティレーザ 110 の複数の発光点 110 a を、上記マルチモード光ファイバ 130 のコア径と略等しい幅内に並設すると共に、集光レンズ 120 として、マルチモード光ファイバ 130 のコア径と略等しい焦点距離の凸レンズや、マルチキャビティレーザ 110 からの出射ビームをその活性層に垂直な面内のみでコリメートするロッドレンズを用いることにより、レーザビーム B のマルチモード光ファイバ 130 への結合効率を上げることができる。

【0094】

また、図 23 に示すように、複数（例えば、3 個）の発光点を備えたマルチキャビティレーザ 110 を用い、ヒートブロック 111 上に複数（例えば、9 個）のマルチキャビティレーザ 110 が互いに等間隔で配列されたレーザアレイ 140 を備えた合波レーザ光源を用いることができる。複数のマルチキャビティレーザ 110 は、各チップの発光点 110 a の配列方向と同じ方向に配列されて固定されている。

10

【0095】

この合波レーザ光源は、レーザアレイ 140 と、各マルチキャビティレーザ 110 に対応させて配置した複数のレンズアレイ 114 と、レーザアレイ 140 と複数のレンズアレイ 114 との間に配置された 1 本のロッドレンズ 113 と、1 本のマルチモード光ファイバ 130 と、集光レンズ 120 と、を備えて構成されている。レンズアレイ 114 は、マルチキャビティレーザ 110 の発光点に対応した複数のマイクロレンズを備えている。

【0096】

上記の構成では、複数のマルチキャビティレーザ 110 の複数の発光点 110 a の各々から出射したレーザビーム B の各々は、ロッドレンズ 113 により所定方向に集光された後、レンズアレイ 114 の各マイクロレンズにより平行光化される。平行光化されたレーザビーム L は、集光レンズ 120 によって集光され、マルチモード光ファイバ 130 のコア 130 a に入射する。コア 130 a に入射したレーザ光は、光ファイバ内を伝搬し、1 本に合波されて出射する。

20

【0097】

更に他の合波レーザ光源の例を示す。この合波レーザ光源は、図 24 (A) 及び (B) に示すように、略矩形形状のヒートブロック 180 上に光軸方向の断面が L 字状のヒートブロック 182 が搭載され、2 つのヒートブロック間に収納空間が形成されている。L 字状のヒートブロック 182 の上面には、複数の発光点（例えば、5 個）がアレイ状に配列された複数の（例えば、2 個）のマルチキャビティレーザ 110 が、各チップの発光点 110 a の配列方向と同じ方向に等間隔で配列されて固定されている。

30

【0098】

略矩形形状のヒートブロック 180 には凹部が形成されており、ヒートブロック 180 の空間側上面には、複数の発光点（例えば、5 個）がアレイ状に配列された複数の（例えば、2 個）のマルチキャビティレーザ 110 が、その発光点がヒートブロック 182 の上面に配置されたレーザチップの発光点と同じ鉛直面上に位置するように配置されている。

【0099】

マルチキャビティレーザ 110 のレーザ光出射側には、各チップの発光点 110 a に対応してコリメートレンズが配列されたコリメートレンズアレイ 184 が配置されている。コリメートレンズアレイ 184 は、各コリメートレンズの長さ方向とレーザビームの拡がり角が大きい方向（速軸方向）とが一致し、各コリメートレンズの幅方向が拡がり角が小さい方向（遅軸方向）と一致するように配置されている。このように、コリメートレンズをアレイ化して一体化することで、レーザ光の空間利用効率が向上し合波レーザ光源の高出力化が図られると共に、部品点数が減少し低コスト化することができる。

40

【0100】

また、コリメートレンズアレイ 184 のレーザ光出射側には、1 本のマルチモード光ファイバ 130 と、このマルチモード光ファイバ 130 の入射端にレーザビームを集光して結合する集光レンズ 120 と、が配置されている。

【0101】

50

上記の構成では、レーザブロック180、182上に配置された複数のマルチキャビティレーザ110の複数の発光点10aの各々から出射したレーザビームBの各々は、コリメートレンズアレイ184により平行光化され、集光レンズ120によって集光されて、マルチモード光ファイバ130のコア130aに入射する。コア130aに入射したレーザ光は、光ファイバ内を伝搬し、1本に合波されて出射する。

【0102】

この合波レーザ光源は、上記の通り、マルチキャビティレーザの多段配置とコリメートレンズのアレイ化とにより、特に高出力化を図ることができる。この合波レーザ光源を用いることにより、より高輝度なファイバアレイ光源やバンドルファイバ光源を構成することができるので、本発明の露光装置のレーザ光源を構成するファイバ光源として特に好適である。

10

【0103】

なお、上記の各合波レーザ光源をケーシング内に収納し、マルチモード光ファイバ130の出射端部をそのケーシングから引き出したレーザモジュールを構成することができる。

【0104】

また、上記の実施の形態では、合波レーザ光源のマルチモード光ファイバの出射端に、コア径がマルチモード光ファイバと同一で且つクラッド径がマルチモード光ファイバより小さい他の光ファイバを結合してファイバアレイ光源の高輝度化を図る例について説明したが、例えば、クラッド径が125 μ m、80 μ m、60 μ m等のマルチモード光ファイバを、出射端に他の光ファイバを結合せずに使用してもよい。

20

【0105】

[光量分布補正光学系]

上記の実施の形態では、露光ヘッドに1対の組合せレンズからなる光量分布補正光学系を用いている。この光量分布補正光学系は、光軸に近い中心部の光束幅に対する周辺部の光束幅の比が入射側に比べて出射側の方が小さくなるように各出射位置における光束幅を変化させて、光源からの平行光束をDMDに照射するとき、被照射面での光量分布が略均一になるように補正する。以下、この光量分布補正光学系の作用について説明する。

【0106】

まず、図25(A)に示したように、入射光束と出射光束とで、その全体の光束幅(全光束幅)H0、H1が同じである場合について説明する。なお、図25(A)において、符号51、52で示した部分は、光量分布補正光学系における入射面および出射面を仮想的に示したものである。

30

【0107】

光量分布補正光学系において、光軸Z1に近い中心部に入射した光束と、周辺部に入射した光束とのそれぞれの光束幅h0、h1が、同一であるものとする(h0=h1)。光量分布補正光学系は、入射側において同一の光束幅h0、h1であった光に対し、中心部の入射光束については、その光束幅h0を拡大し、逆に、周辺部の入射光束に対してはその光束幅h1を縮小するような作用を施す。すなわち、中心部の出射光束の幅h10と、周辺部の出射光束の幅h11とについて、h11<h10となるようにする。光束幅の比率で表すと、出射側における中心部の光束幅に対する周辺部の光束幅の比「h11/h10」が、入射側における比(h1/h0=1)に比べて小さくなっている((h11/h10)<1)。

40

【0108】

このように光束幅を変化させることにより、通常では光量分布が大きくなっている中央部の光束を、光量の不足している周辺部へと生かすことができ、全体として光の利用効率を落とさずに、被照射面での光量分布が略均一化される。均一化の度合いは、例えば、有効領域内における光量ムラが30%以内、好ましくは20%以内となるようにする。

【0109】

このような光量分布補正光学系による作用、効果は、入射側と出射側とで、全体の光束幅を変える場合(図25(B)、(C))においても同様である。

50

【 0 1 1 0 】

図 2 5 (B) は、入射側の全体の光束幅 H_0 を、幅 H_2 に “ 縮小 ” して出射する場合 ($H_0 > H_2$) を示している。このような場合においても、光量分布補正光学系は、入射側において同一の光束幅 h_0 、 h_1 であった光を、出射側において、中央部の光束幅 h_{10} が周辺部に比べて大きくなり、逆に、周辺部の光束幅 h_{11} が中心部に比べて小さくなるようにする。光束の縮小率で考えると、中心部の入射光束に対する縮小率を周辺部に比べて小さくし、周辺部の入射光束に対する縮小率を中心部に比べて大きくするような作用を施している。この場合にも、中心部の光束幅に対する周辺部の光束幅の比「 H_{11} / H_{10} 」が、入射側における比 ($h_1 / h_0 = 1$) に比べて小さくなる ($(h_{11} / h_{10}) < 1$)。

10

【 0 1 1 1 】

図 2 5 (C) は、入射側の全体の光束幅 H_0 を、幅 H_3 に “ 拡大 ” して出射する場合 ($H_0 < H_3$) を示している。このような場合においても、光量分布補正光学系は、入射側において同一の光束幅 h_0 、 h_1 であった光を、出射側において、中央部の光束幅 h_{10} が周辺部に比べて大きくなり、逆に、周辺部の光束幅 h_{11} が中心部に比べて小さくなるようにする。光束の拡大率で考えると、中心部の入射光束に対する拡大率を周辺部に比べて大きくし、周辺部の入射光束に対する拡大率を中心部に比べて小さくするような作用を施している。この場合にも、中心部の光束幅に対する周辺部の光束幅の比「 h_{11} / h_{10} 」が、入射側における比 ($h_1 / h_0 = 1$) に比べて小さくなる ($(h_{11} / h_{10}) < 1$)。

20

【 0 1 1 2 】

このように、光量分布補正光学系は、各出射位置における光束幅を変化させ、光軸 Z_1 に近い中心部の光束幅に対する周辺部の光束幅の比を入射側に比べて出射側の方が小さくなるようにしたので、入射側において同一の光束幅であった光が、出射側においては、中央部の光束幅が周辺部に比べて大きくなり、周辺部の光束幅は中心部に比べて小さくなる。これにより、中央部の光束を周辺部へと生かすことができ、光学系全体としての光の利用効率を落とさずに、光量分布の略均一化された光束断面を形成することができる。

【 0 1 1 3 】

次に、光量分布補正光学系として使用する 1 対の組合せレンズの具体的なレンズデータの 1 例を示す。この例では、光源がレーザアレイ光源である場合のように、出射光束の断面での光量分布がガウス分布である場合のレンズデータを示す。なお、シングルモード光ファイバの入射端に 1 個の半導体レーザを接続した場合には、光ファイバからの射出光束の光量分布がガウス分布になる。本実施の形態はこのような場合にも適用可能である。また、マルチモード光ファイバのコア径を小さくしてシングルモード光ファイバの構成に近付ける等により光軸に近い中心部の光量が周辺部の光量よりも大きい場合にも適用可能である。

30

【 0 1 1 4 】

下記表 1 に基本レンズデータを示す。

【 0 1 1 5 】

【表 1】

40

基本レンズデータ			
S_i (面番号)	r_i (曲率半径)	d_i (面間隔)	N_i (屈折率)
0 1	非球面	5.000	1.52811
0 2	∞	50.000	
0 3	∞	7.000	1.52811
0 4	非球面		

50

【 0 1 1 6 】

表 1 から分かるように、1 対の組合せレンズは、回転対称の 2 つの非球面レンズから構成されている。光入射側に配置された第 1 のレンズの光入射側の面を第 1 面、光出射側の面を第 2 面とすると、第 1 面は非球面形状である。また、光出射側に配置された第 2 のレンズの光入射側の面を第 3 面、光出射側の面を第 4 面とすると、第 4 面が非球面形状である。

【 0 1 1 7 】

表 1 において、面番号 S i は i 番目 (i = 1 ~ 4) の面の番号を示し、曲率半径 r i は i 番目の面の曲率半径を示し、面間隔 d i は i 番目の面と i + 1 番目の面との光軸上の面間隔を示す。面間隔 d i 値の単位はミリメートル (mm) である。屈折率 N i は i 番目の面を備えた光学要素の波長 4 0 5 nm に対する屈折率の値を示す。

10

【 0 1 1 8 】

下記表 2 に、第 1 面及び第 4 面の非球面データを示す。

【 0 1 1 9 】

【表 2】

非球面データ		
	第 1 面	第 4 面
C	-1.4098E-02	-9.8506E-03
K	-4.2192E+00	-3.6253E+01
a 3	-1.0027E-04	-8.9980E-05
a 4	3.0591E-05	2.3060E-05
a 5	-4.5115E-07	-2.2860E-06
a 6	-8.2819E-09	8.7661E-08
a 7	4.1020E-12	4.4028E-10
a 8	1.2231E-13	1.3624E-12
a 9	5.3753E-16	3.3965E-15
a 1 0	1.6315E-18	7.4823E-18

20

30

【 0 1 2 0 】

上記の非球面データは、非球面形状を表す下記式 (A) における係数で表される。

【 0 1 2 1 】

【数 1】

$$Z = \frac{C \cdot \rho^2}{1 + \sqrt{1 - K \cdot (C \cdot \rho)^2}} + \sum_{i=3}^{10} a_i \cdot \rho^i \quad \dots \dots (A)$$

40

【 0 1 2 2 】

上記式 (A) において各係数を以下の通り定義する。

Z : 光軸から高さ ρ の位置にある非球面上の点から、非球面の頂点の接平面 (光軸に垂直な平面) に下ろした垂線の長さ (mm)

ρ : 光軸からの距離 (mm)

K : 円錐係数

C : 近軸曲率 (1 / r 、 r : 近軸曲率半径)

a i : 第 i 次 (i = 3 ~ 1 0) の非球面係数

表 2 に示した数値において、記号 “ E ” は、その次に続く数値が 1 0 を底とした “ べき指数 ” であることを示し、その 1 0 を底とした指数関数で表される数値が “ E ” の前の数値に乗算されることを示す。例えば、「 1 . 0 E - 0 2 」であれば、「 1 . 0 × 1 0 ^{- 2} 」

50

であることを示す。

【0123】

図27は、上記表1及び表2に示す1対の組合せレンズによって得られる照明光の光量分布を示している。横軸は光軸からの座標を示し、縦軸は光量比(%)を示す。なお、比較のために、図26に、補正を行わなかった場合の照明光の光量分布(ガウス分布)を示す。図26及び図27から分かるように、光量分布補正光学系で補正を行うことにより、補正を行わなかった場合と比べて、略均一化された光量分布が得られている。これにより、露光ヘッドにおける光の利用効率を落とさずに、均一なレーザ光でムラなく露光を行うことができる。

【0124】

[他の結像光学系]

上記の実施の形態では、露光ヘッドに使用するDMDの光反射側に、結像光学系として2組のレンズを配置したが、レーザ光を拡大して結像する結像光学系を配置してもよい。DMDにより反射される光束線の断面積を拡大することで、被露光面における露光エリア面積(画像領域)を所望の大きさに拡大することができる。

【0125】

例えば、露光ヘッドを、図28(A)に示すように、DMD50、DMD50にレーザ光を照射する照明装置144、DMD50で反射されたレーザ光を拡大して結像するレンズ系454、458、DMD50の各画素に対応して多数のマイクロレンズ474が配置されたマイクロレンズアレイ472、マイクロレンズアレイ472の各マイクロレンズに対応して多数のアパーチャ478が設けられたアパーチャアレイ476、アパーチャを通過したレーザ光を被露光面56に結像するレンズ系480、482で構成することができる。

【0126】

この露光ヘッドでは、照明装置144からレーザ光が照射されると、DMD50によりオン方向に反射される光束線の断面積が、レンズ系454、458により数倍(例えば、2倍)に拡大される。拡大されたレーザ光は、マイクロレンズアレイ472の各マイクロレンズによりDMD50の各画素に対応して集光され、アパーチャアレイ476の対応するアパーチャを通過する。アパーチャを通過したレーザ光は、レンズ系480、482により被露光面56上に結像される。

【0127】

この結像光学系では、DMD50により反射されたレーザ光は、拡大レンズ454、458により数倍に拡大されて被露光面56に投影されるので、全体の画像領域が広がる。このとき、マイクロレンズアレイ472及びアパーチャアレイ476が配置されていなければ、図28(B)に示すように、被露光面56に投影される各ビームスポットBSの1画素サイズ(スポットサイズ)が露光エリア468のサイズに応じて大きなものとなり、露光エリア468の鮮鋭度を表すMTF(Modulation Transfer Function)特性が低下する。

【0128】

一方、マイクロレンズアレイ472及びアパーチャアレイ476を配置した場合には、DMD50により反射されたレーザ光は、マイクロレンズアレイ472の各マイクロレンズによりDMD50の各画素に対応して集光される。これにより、図28(C)に示すように、露光エリアが拡大された場合でも、各ビームスポットBSのスポットサイズを所望の大きさ(例えば、 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$)に縮小することができ、MTF特性の低下を防止して高精細な露光を行うことができる。なお、露光エリア468が傾いているのは、画素間の隙間を無くす為にDMD50を傾けて配置しているからである。

【0129】

また、マイクロレンズの収差によるビームの太りがあっても、アパーチャによって被露光面56上でのスポットサイズが一定の大きさになるようにビームを整形することができると共に、各画素に対応して設けられたアパーチャを通過させることにより、隣接する画素

10

20

30

40

50

間でのクロストークを防止することができる。

【0130】

更に、照明装置144に上記実施の形態と同様に高輝度光源を使用することにより、レンズ458からマイクロレンズアレイ472の各マイクロレンズに入射する光束の角度が小さくなるので、隣接する画素の光束の一部が入射するのを防止することができる。即ち、高消光比を実現することができる。

【0131】

【発明の効果】

本発明の露光ヘッド及び露光装置は、空間光変調素子を備えているが、この空間光変調素子の変調速度を速くして、高速露光を行うことができる、という効果を奏する。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態に係る露光装置の外観を示す斜視図である。

【図2】第1の実施の形態に係る露光装置のスキャナの構成を示す斜視図である。

【図3】(A)は感光材料に形成される露光済み領域を示す平面図であり、(B)は各露光ヘッドによる露光エリアの配列を示す図である。

【図4】第1の実施の形態に係る露光装置の露光ヘッドの概略構成を示す斜視図である。

【図5】(A)は図4に示す露光ヘッドの構成を示す光軸に沿った副走査方向の断面図であり、(B)は(A)の側面図である。

【図6】デジタルマイクロミラーデバイス(DMD)の構成を示す部分拡大図である。

【図7】(A)及び(B)はDMDの動作を説明するための説明図である。

20

【図8】(A)及び(B)は、DMDを傾斜配置しない場合と傾斜配置する場合とで、露光ビームの配置及び走査線を比較して示す平面図である。

【図9】(A)はファイバアレイ光源の構成を示す斜視図であり、(B)は(Aの部分拡大図)であり、(C)及び(D)はレーザ出射部における発光点の配列を示す平面図である。

【図10】マルチモード光ファイバの構成を示す図である。

【図11】合波レーザ光源の構成を示す平面図である。

【図12】レーザモジュールの構成を示す平面図である。

【図13】図12に示すレーザモジュールの構成を示す側面図である。

【図14】図12に示すレーザモジュールの構成を示す部分側面図である。

30

【図15】(A)及び(B)は、従来の露光装置における焦点深度と第1の実施の形態に係る露光装置における焦点深度との相違を示す光軸に沿った断面図である。

【図16】(A)及び(B)は、DMDの使用領域の例を示す図である。

【図17】(A)はDMDの使用領域が適正である場合の側面図であり、(B)は(A)の光軸に沿った副走査方向の断面図である。

【図18】スキャナによる1回の走査で感光材料を露光する露光方式を説明するための平面図である。

【図19】(A)及び(B)はスキャナによる複数回の走査で感光材料を露光する露光方式を説明するための平面図である。

【図20】レーザアレイの構成を示す斜視図である。

40

【図21】(A)はマルチキャビティレーザの構成を示す斜視図であり、(B)は(A)に示すマルチキャビティレーザをアレイ状に配列したマルチキャビティレーザアレイの斜視図である。

【図22】合波レーザ光源の他の構成を示す平面図である。

【図23】合波レーザ光源の他の構成を示す平面図である。

【図24】(A)は合波レーザ光源の他の構成を示す平面図であり、(B)は(A)の光軸に沿った断面図である。

【図25】光量分布補正光学系による補正の概念についての説明図である。

【図26】光源がガウス分布で且つ光量分布の補正を行わない場合の光量分布を示すグラフである。

50

【図 27】 光量分布補正光学系による補正後の光量分布を示すグラフである。

【図 28】 (A) は結合光学系の異なる他の露光ヘッドの構成を示す光軸に沿った断面図であり、(B) はマイクロレンズアレイ等を使用しない場合に被露光面に投影される光像を示す平面図であり、(C) はマイクロレンズアレイ等を使用した場合に被露光面に投影される光像を示す平面図である。

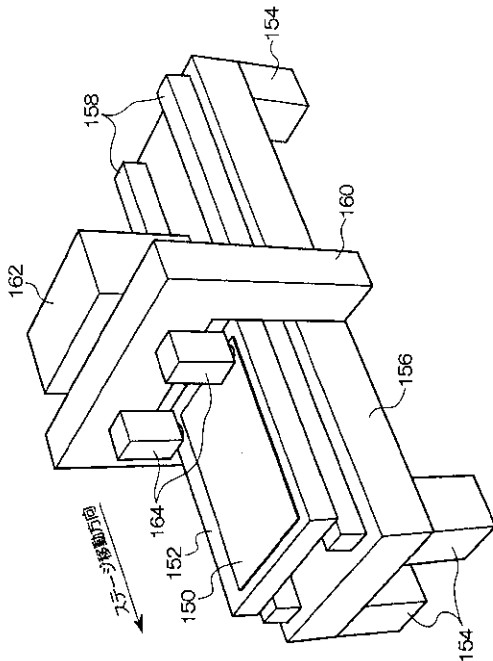
【符号の説明】

- LD 1 ~ LD 7 GaN系半導体レーザー
- 10 ヒートブロック
- 11 ~ 17 コリメータレンズ
- 20 集光レンズ
- 30 マルチモード光ファイバ
- 50 デジタル・マイクロミラー・デバイス (DMD)
- 53 反射光像 (露光ビーム)
- 54、58 レンズ系
- 56 走査面 (被露光面)
- 64 レーザモジュール
- 66 ファイバアレイ光源
- 68 レーザ出射部
- 73 組合せレンズ
- 150 感光材料
- 152 ステージ
- 162 スキャナ
- 166 露光ヘッド
- 168 露光エリア
- 170 露光済み領域

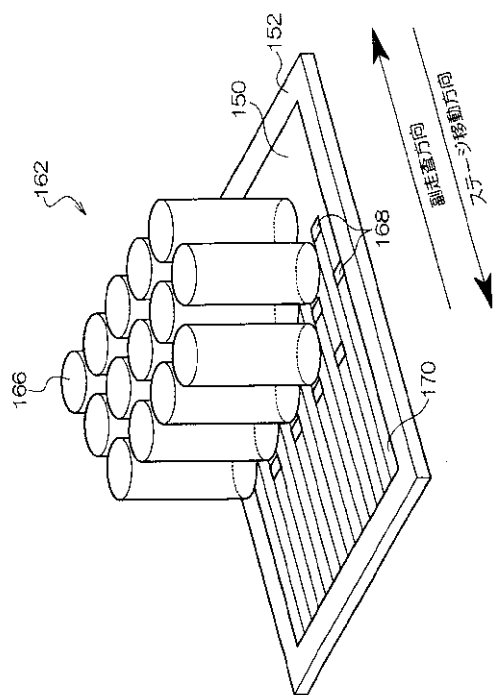
10

20

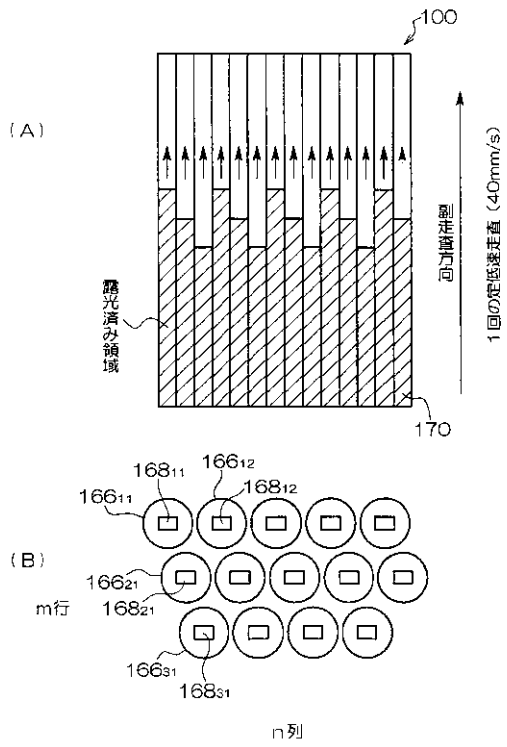
【図 1】



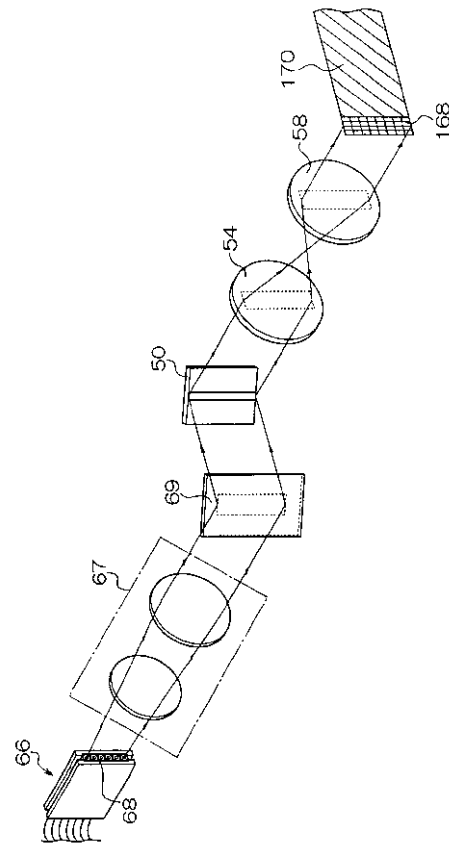
【図 2】



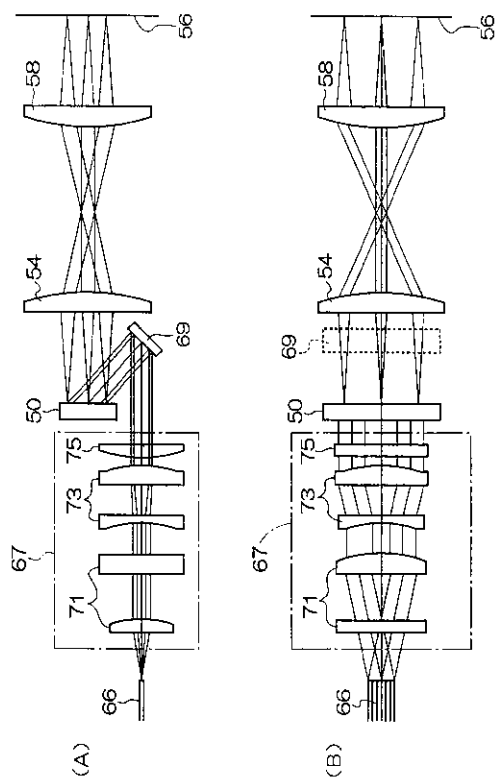
【 図 3 】



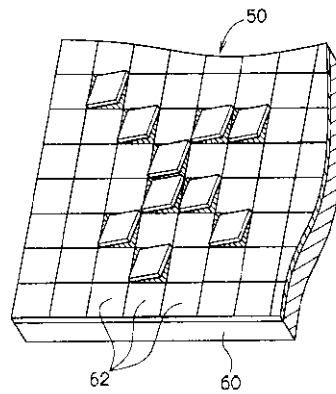
【 図 4 】



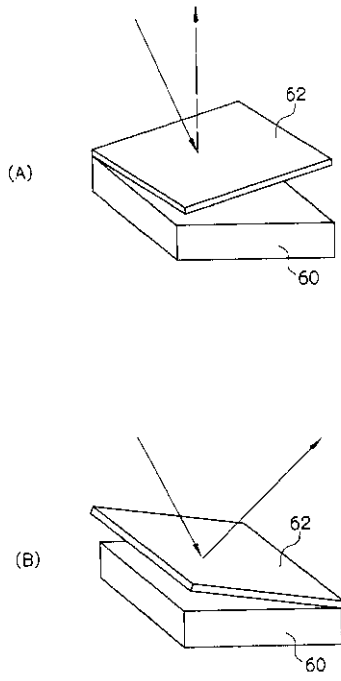
【 図 5 】



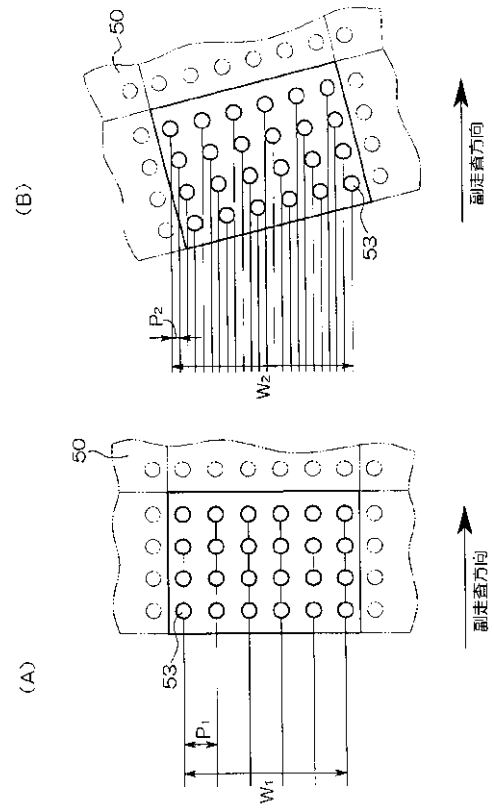
【 図 6 】



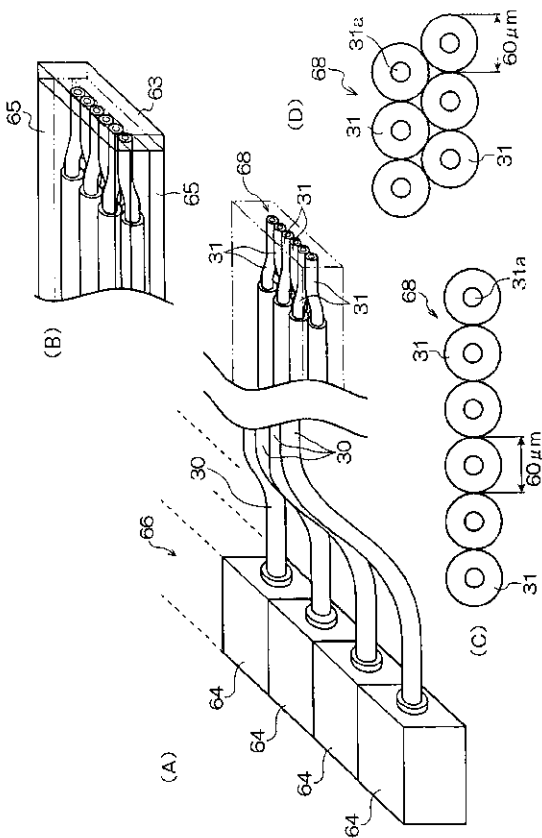
【 図 7 】



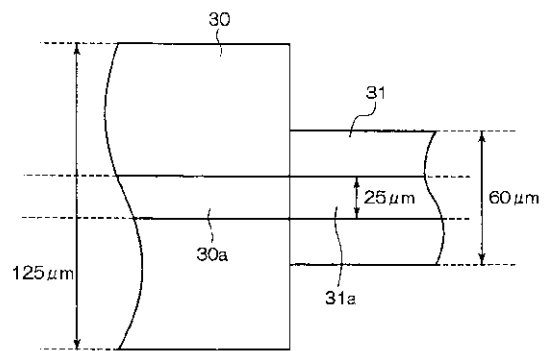
【 図 8 】



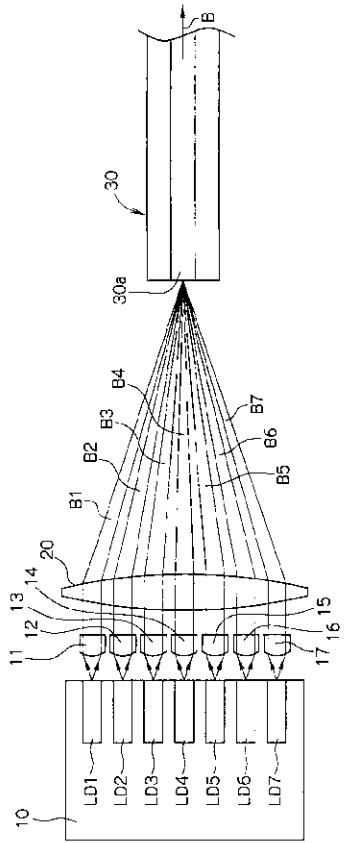
【 図 9 】



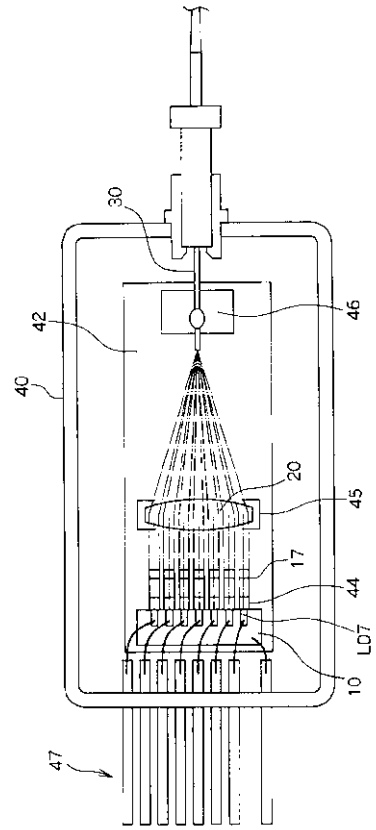
【 図 10 】



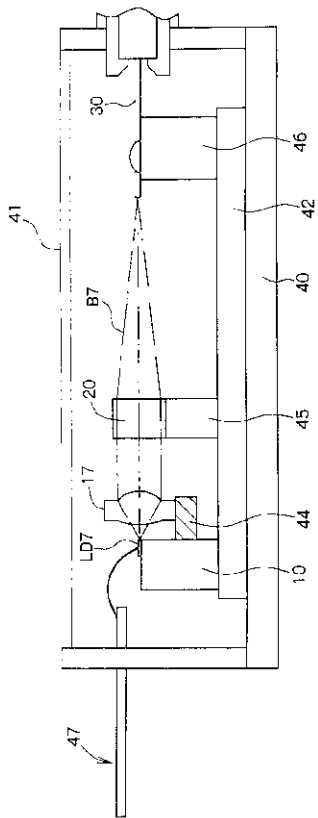
【 図 1 1 】



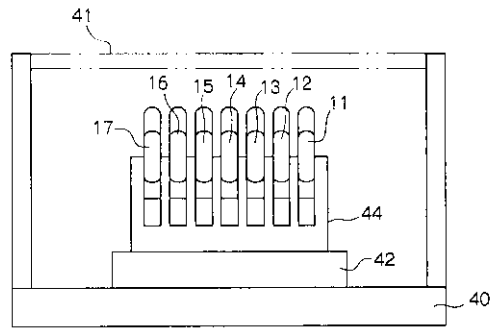
【 図 1 2 】



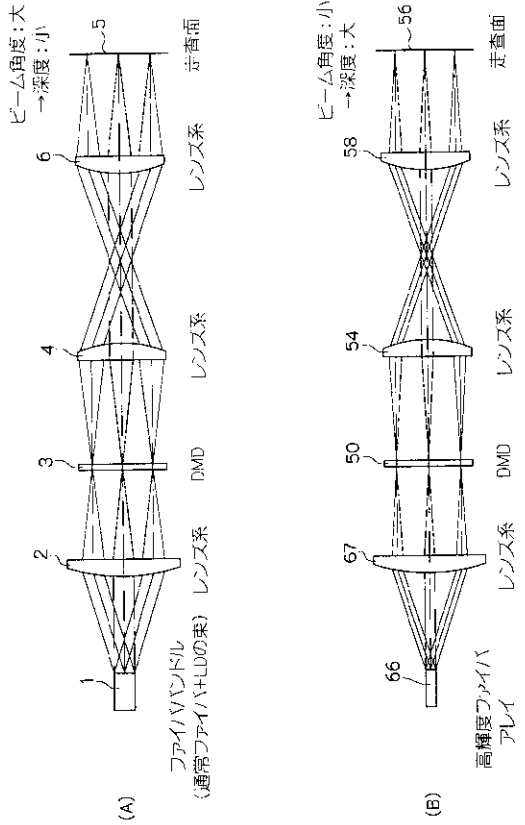
【 図 1 3 】



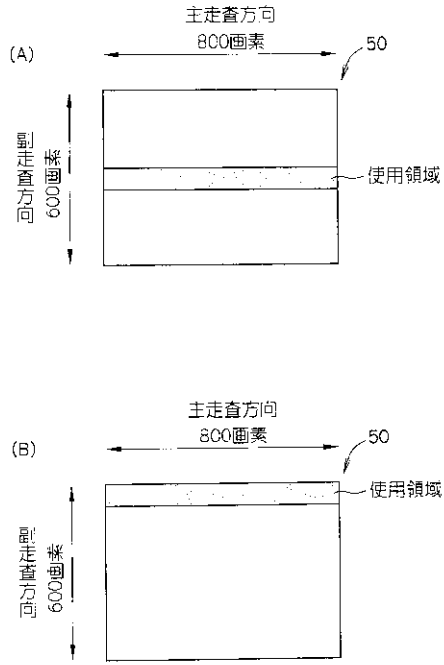
【 図 1 4 】



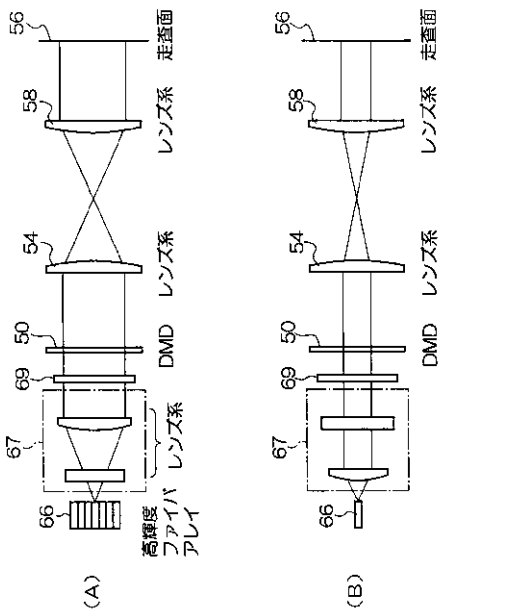
【 図 1 5 】



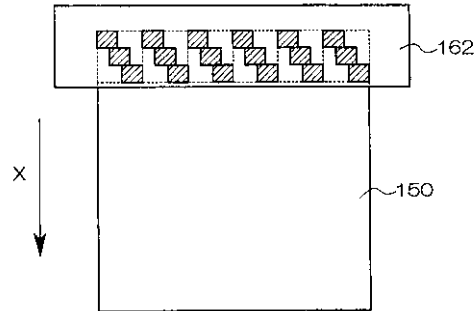
【 図 1 6 】



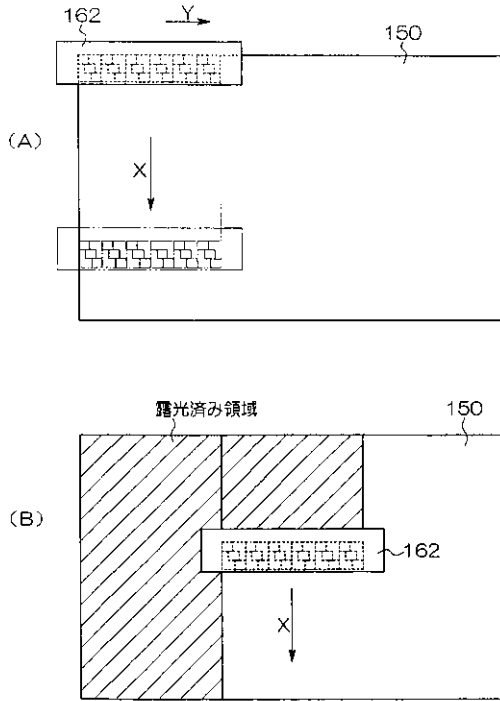
【 図 1 7 】



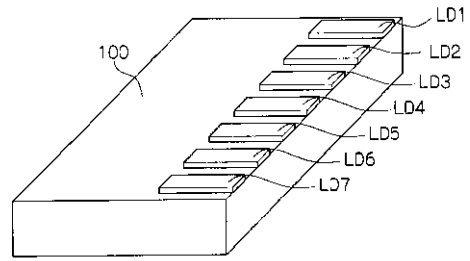
【 図 1 8 】



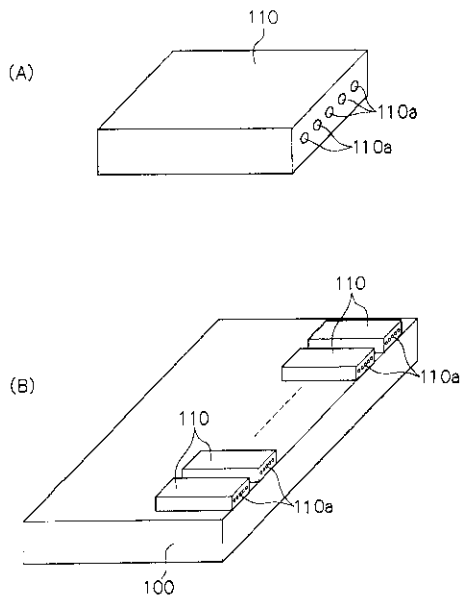
【図 19】



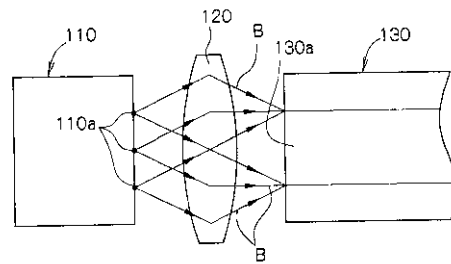
【図 20】



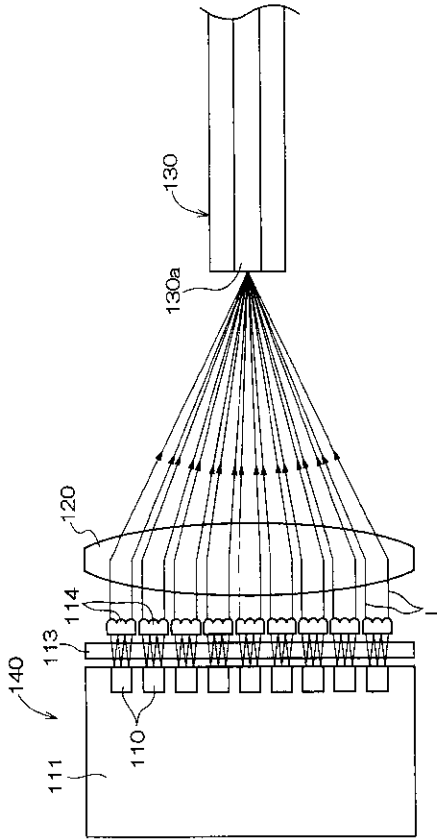
【図 21】



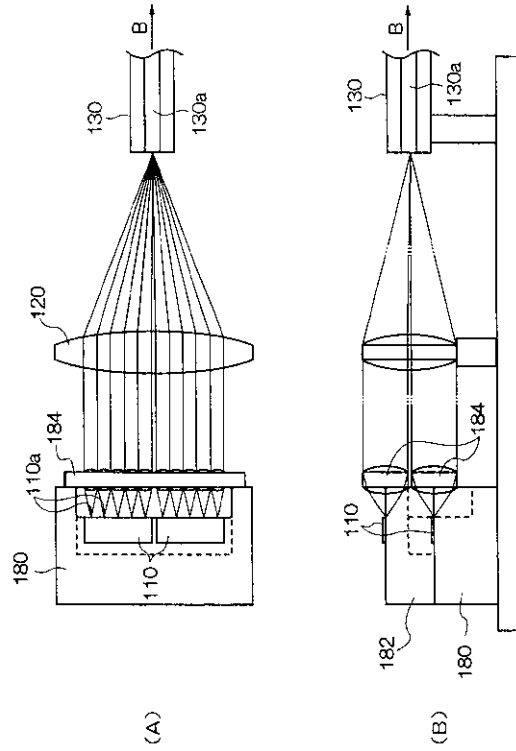
【図 22】



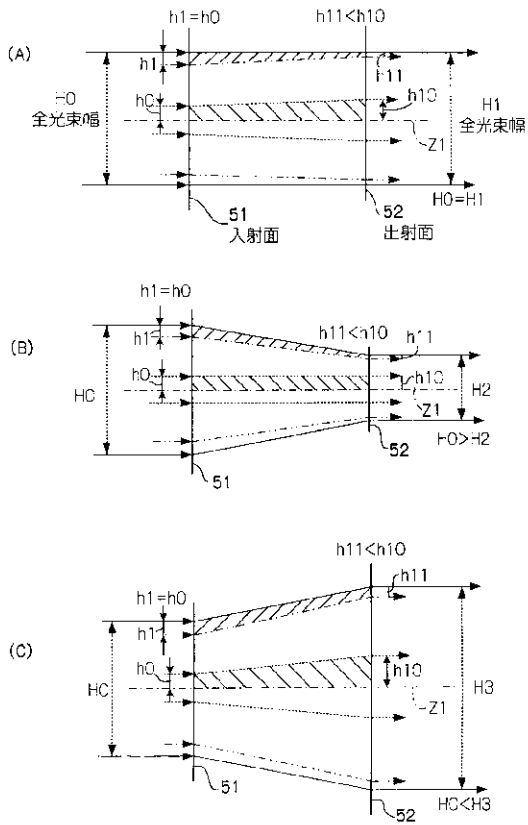
【図 2 3】



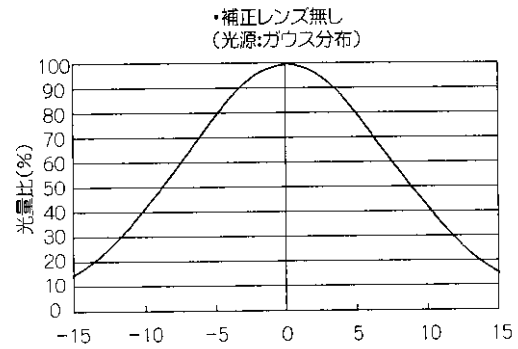
【図 2 4】



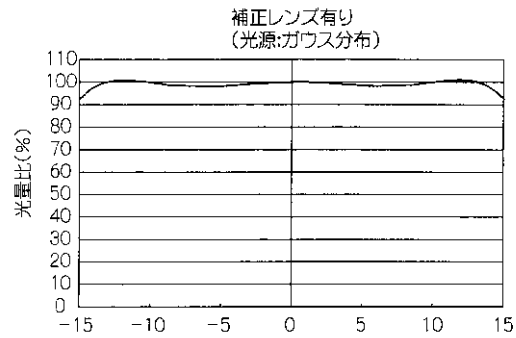
【図 2 5】



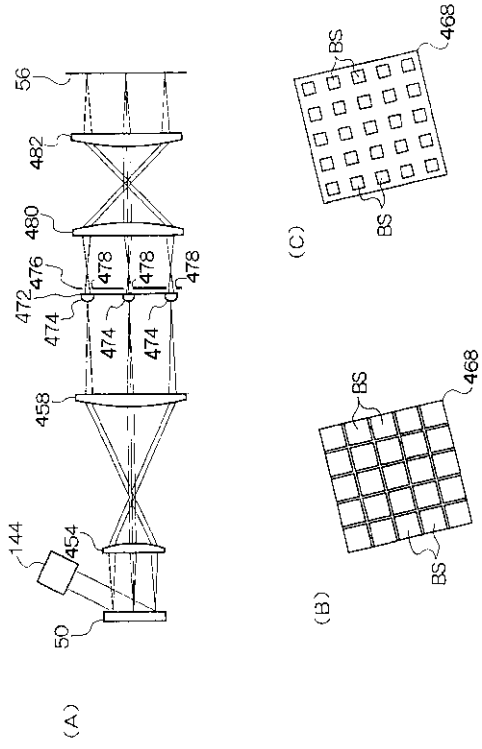
【図 2 6】



【図 2 7】



【 図 28 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷ F I テーマコード(参考)
H 0 1 S 5/06

(72)発明者 石川 弘美
神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

(72)発明者 岡崎 洋二
神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

(72)発明者 永野 和彦
神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

(72)発明者 藤井 武
神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

(72)発明者 山川 博充
埼玉県さいたま市植竹町 1 丁目 3 2 4 番地 富士写真光機株式会社内

F ターム(参考) 2C162 AE28 AE47 AF06 AF14 FA04 FA18 FA44 FA48 FA50
2H037 AA03 BA03 BA05 CA16 DA03 DA04 DA05 DA06 DA15
5F073 AB02 AB05 AB27 AB28 BA09 EA14