

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4208141号
(P4208141)

(45) 発行日 平成21年1月14日(2009.1.14)

(24) 登録日 平成20年10月31日(2008.10.31)

(51) Int.Cl.

F 1

G03B 27/32 (2006.01)
G02B 26/08 (2006.01)G03B 27/32
G02B 26/08G
E

請求項の数 6 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2004-395 (P2004-395)
 (22) 出願日 平成16年1月5日 (2004.1.5)
 (65) 公開番号 特開2005-195747 (P2005-195747A)
 (43) 公開日 平成17年7月21日 (2005.7.21)
 審査請求日 平成18年5月18日 (2006.5.18)

(73) 特許権者 306037311
 富士フィルム株式会社
 東京都港区西麻布2丁目26番30号
 (74) 代理人 100073184
 弁理士 柳田 征史
 (74) 代理人 100090468
 弁理士 佐久間 剛
 (72) 発明者 石川 弘美
 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地
 富士写真フィルム株式会社内
 審査官 星野 浩一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像露光方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の揺動する矩形の微小ミラーが2次元状に配列されてなり、入射した光を各微小ミラー毎に空間変調するDMD(デジタル・マイクロミラー・デバイス)と、
 このDMDに光を照射する光源と、

前記DMDの各微小ミラーからの光をそれぞれ集光するマイクロレンズがアレイ状に配されてなるマイクロレンズアレイを含み、前記DMDにより変調された光による像を感光材料上に結像する結像光学系とを備えた画像露光装置において、

前記マイクロレンズアレイよりDMD側に離して、もしくは該マイクロレンズアレイと一体的にして、短軸および長軸を持つ細長い形状の開口を有する開口板が、前記矩形の微小ミラーの2つの対角線のうちミラー揺動軸と平行な対角線の方向に開口短軸をほぼ対応させた状態で、各マイクロレンズ毎に設けられていることを特徴とする画像露光装置。 10

【請求項 2】

前記開口板が橜円形の開口を有するものであることを特徴とする請求項1記載の画像露光装置。

【請求項 3】

前記開口板が長円形の開口を有するものであることを特徴とする請求項1記載の画像露光装置。

【請求項 4】

前記開口板が多角形の開口を有するものであることを特徴とする請求項1記載の画像露 20

光装置。

【請求項 5】

前記開口板が、複数の開口を2次元状に並設してなるアパーチャアレイを構成していることを特徴とする請求項1から4いずれか1項記載の画像露光装置。

【請求項 6】

請求項1から5いずれか1項記載の画像装置を用いて所定のパターンを感光材料に露光することを特徴とする画像露光方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明は画像露光装置に関し、特に詳細には、空間光変調素子で変調された光を結像光学系に通し、この光による像を感光材料上に結像させて該感光材料を露光する画像露光装置に関するものである。

【0002】

また本発明は、上述のような画像露光装置を用いる露光方法に関するものである。

【背景技術】

【0003】

20

従来、空間光変調素子で変調された光を結像光学系に通し、この光による像を所定の感光材料上に結像して該感光材料を露光する画像露光装置が公知となっている。この種の画像露光装置は、基本的に、照射された光を各々制御信号に応じて変調する多数の画素部が2次元状に配列されてなる空間光変調素子と、この空間光変調素子に光を照射する光源と、前記空間光変調素子により変調された光による像を感光材料上に結像する結像光学系とを備えてなるものである。なお、非特許文献1および本出願人による特願2002-149886号明細書には、上記基本的構成を有する画像露光装置の一例が示されている。

【0004】

この種の画像露光装置において好適に用いられる空間光変調素子の一つとして、DMD(デジタル・マイクロミラー・デバイス)が挙げられる。このDMDは、制御信号に応じて揺動して反射面の角度を変化させ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次元状に配列されてなるミラーデバイスである。

【0005】

30

上述のような画像露光装置においては、感光材料に投影する画像を拡大したいという要求が伴うことも多く、その場合には、結像光学系として拡大結像光学系が用いられる。そのようにする際、空間光変調素子を経た光をただ拡大結像光学系に通しただけでは、空間光変調素子の各画素部からの光束が拡大して、投影された画像において画素サイズが大きくなり、画像の鮮鋭度が低下してしまう。

【0006】

そこで、上記特願2002-149886号明細書にも示されるように、空間光変調素子で変調された光の光路に第1の結像光学系を配し、この結像光学系による結像面には空間光変調素子の各画素部にそれぞれ対応するマイクロレンズがアレイ状に配されてなるマイクロレンズアレイを配置し、そしてこのマイクロレンズアレイを通過した光の光路には、変調された光による像を感光材料やスクリーン上に結像する第2の結像光学系を配置して、これら第1および第2の結像光学系によって像を拡大投影することが考えられている。この構成においては、感光材料やスクリーン上に投影される画像のサイズは拡大される一方、空間光変調素子の各画素部からの光はマイクロレンズアレイの各マイクロレンズによって集光されるので、投影画像における画素サイズ(スポットサイズ)は絞られて小さく保たれるので、画像の鮮鋭度も高く保つことができる。

40

【0007】

なお特許文献1には、空間光変調素子としてDMDを用い、それとマイクロレンズアレイとを組み合わせてなる画像露光装置の一例が示されている。また特許文献2には、同種の画像露光装置において、マイクロレンズアレイの後側にマイクロレンズアレイの各マイ

50

クロレンズと対応する開口（アパーチャ）を有する開口板を配置して、対応するマイクロレンズを経た光のみが開口を通過するようにした構成が示されている。この構成においては、開口板の各開口に、それと対応しない隣接のマイクロレンズからの光が入射することが防止されるので、消光比が高められる。

【特許文献1】特開2001-305663号公報

【特許文献2】特表2001-500628号公報

【非特許文献1】石川明人"マスクレス露光による開発短縮と量産適用化"、『エレクトロニクス実装技術』、株式会社技術調査会、Vol.18、No.6、2002年、p.74-79

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0008】

ところで、上述のようにDMDとマイクロレンズアレイとを組み合わせてなる従来の画像露光装置においては、マイクロレンズアレイの各マイクロレンズで集光されたビームの集光位置における形状が歪んでしまうという問題が認められている。

【0009】

本発明は上記の事情に鑑みてなされたものであり、DMDとマイクロレンズアレイとを組み合わせてなる画像露光装置において、マイクロレンズで集光されたビームの歪みを防止することを目的とする。

【0010】

また本発明は、上記ビームの歪みを防止可能な画像露光方法を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明による画像露光装置は、

先に述べたように、複数の揺動する矩形の微小ミラーが2次元状に配列されてなり、入射した光を各微小ミラー毎に空間変調するDMD（デジタル・マイクロミラー・デバイス）と、

このDMDに光を照射する光源と、

前記DMDの各微小ミラーからの光をそれぞれ集光するマイクロレンズがアレイ状に配されてなるマイクロレンズアレイを含み、前記DMDにより変調された光による像を感光材料上に結像する結像光学系とを備えた画像露光装置において、

30

マイクロレンズアレイよりDMD側に離して、もしくは該マイクロレンズアレイと一体的にして、長軸を持つ細長い形状の開口を有する開口板が、前記矩形の微小ミラーの2つの対角線のうちミラー揺動軸と平行な対角線の方向に開口短軸をほぼ対応させた状態で、各マイクロレンズ毎に設けられていることを特徴とするものである。

【0012】

なお上記開口板としては、橢円形の開口を有するもの、長円形の開口を有するもの、あるいは多角形の開口を有するもの等を好適に用いることができる。またこの開口板は、複数の開口を2次元状に並設してなるアパーチャアレイとして形成されることが望ましい。

【0013】

40

他方、本発明による画像露光方法は、上述した本発明による画像露光装置を用いて所定のパターンを感光材料に露光することを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0014】

本発明者の研究によると、マイクロレンズで集光されたビームの集光位置における形状が歪んでしまうという前述の問題は、DMDを構成する微小ミラーの反射面の歪みに起因していることが判明した。従来、DMDにおいて画素部となる微小ミラーの反射面は、精度良く平坦に形成されているものと考えられて来たが、本発明者の分析によるとこの反射面はかなり歪んでおり、その歪みは、基本的に図18の(A)、(B)に示すような分布を有していることが分かった。以下、この歪みの分布について詳しく説明する。

50

【0015】

DMDを構成する矩形の微小ミラーは、その2つの対角線の一方と平行な揺動軸の周りに揺動するが、図18(A)はこの揺動軸と交わるx方向(揺動方向)の対角線に沿った断面内の歪分布を、そして同図(B)は上記揺動軸と平行なy方向(揺動軸方向)の対角線に沿った断面内の歪分布を示している。なおこれらの図において、横軸はミラー中心からの位置を示している。ここに示される通り、x方向ではミラー中心から±5100nm近辺の位置に歪みの変曲点があり、一方、y方向ではミラー中心から±4500nm近辺の位置に歪みの変曲点があり、それらの各変曲点よりもミラー中心側の領域では歪はなだらかに変化し、それよりも外側の領域では歪が比較的大きく変化している。

【0016】

10

以上の知見に鑑みて本発明による画像露光装置においては、マイクロレンズアレイよりDMD側に離して、もしくは該マイクロレンズアレイと一体的にして、長軸を持つ細長い形状の開口板を有する開口板が、矩形の微小ミラーの2つの対角線のうちミラー揺動軸と平行な対角線の方向、つまり上記y方向に開口短軸を対応させた状態で、各マイクロレンズ毎に設けられている。このような開口板が設けられると、歪みの変化が比較的大きいミラー周辺部(すなわち上記変曲点よりも外側の部分)で反射した光の多くは開口板で遮断されるので、マイクロレンズで集光されたビームの集光位置における形状が歪んでしまうという問題を防止できる。

【0017】

20

以上のようにして、マイクロレンズアレイの各マイクロレンズによって集光されたビームの集光位置における形状が歪んでしまうことを防止できれば、歪みの無い、より高精細な画像を露光可能となる。

【0018】

30

上記開口板による基本的な作用は、勿論開口の全周域に亘って得られるものであるが、本発明の画像露光装置において開口板は、微小ミラーの揺動軸と平行な対角線の方向に開口短軸をほぼ対応させた状態で配置されるので、この対角線方向およびその近辺については微小ミラーの中心から比較的短い範囲(ここは歪みの変化が比較的小ない領域である)で反射した光のみが開口を通過するようになり、ビーム形状の歪みを防止する効果がより確実なものとなる。その一方、上記とは別の対角線方向およびその近辺については、微小ミラーの中心から比較的長い範囲(ここも歪みの変化が比較的小なく、さらに歪自体も小さい領域である)で反射した光が開口を通過するようになるので、この方向において光を必要に多く絞ることがなくなり、全体として光利用効率を高く保つことができる。

【0019】

なお、先に述べた特許文献2に示された構成において、消光比を高めることを目的として設置される開口板の開口径を全体的にある程度小さくすれば、マイクロレンズの集光位置におけるビーム形状の歪みを抑制する効果も得られる。しかしそのようにした場合は、開口板で遮断される光量がより多くなり、光利用効率が低下する。それに対して本発明の画像露光装置では光利用効率も高く保たれることは、先に述べた通りである。

【0020】

40

他方、本発明による画像露光方法は、上述した本発明による画像露光装置を用いて所定のパターンを感光材料に露光するものであるので、集光されたビームの集光位置における形状が歪んでしまうことを防止して、高精細なパターンを露光可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、図面を参照して、本発明の一実施形態による画像露光装置について説明する。

【0022】

[画像露光装置の構成]

この画像露光装置は、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移動ステージ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の上面には、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

50

。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、この画像露光装置には、副走査手段としてのステージ152をガイド158に沿って駆動する後述のステージ駆動装置304(図15参照)が設けられている。

【0023】

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の先端および後端を検知する複数(例えば2個)のセンサ164が設けられている。スキャナ162およびセンサ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およびセンサ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。10

【0024】

スキャナ162は、図2および図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を配置してある。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_{mn} と表記する。

【0025】

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_{mn} と表記する。20

【0026】

また、図3(A)および(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、本例では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_{11} と露光エリア 168_{12} との間の露光できない部分は、2行目の露光エリア 168_{21} と3行目の露光エリア 168_{31} とにより露光することができる。30

【0027】

露光ヘッド $166_{11} \sim 166_{mn}$ の各々は、図4および図5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、米国テキサス・インスツルメンツ社製のデジタル・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後述のコントローラ302(図15参照)に接続されている。このコントローラ302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ついては後述する。40

【0028】

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、このレンズ系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。なお図4では、レンズ系67を概略的に示してある。

【0029】

上記レンズ系67は、図5に詳しく示すように、ファイバアレイ光源66から出射した照明光としてのレーザ光Bを集光する集光レンズ71、この集光レンズ71を通過した光の光路に50

挿入されたロッド状オプティカルインテグレータ（以下、ロッドインテグレータという）72、およびこのロッドインテグレータ72の前方つまりミラー69側に配置された結像レンズ74から構成されている。集光レンズ71、ロッドインテグレータ72および結像レンズ74は、ファイバアレイ光源66から出射したレーザ光を、平行光に近くかつビーム断面内強度が均一化された光束としてDMD50に入射させる。このロッドインテグレータ72の形状や作用については、後に詳しく説明する。

【0030】

上記レンズ系67から出射したレーザ光Bはミラー69で反射し、TIR（全反射）プリズム70を介してDMD50に照射される。なお図4では、このTIRプリズム70は省略してある。

10

【0031】

またDMD50の光反射側には、DMD50で反射されたレーザ光Bを、感光材料150上に結像する結像光学系51が配置されている。この結像光学系51は図4では概略的に示してあるが、図5に詳細を示すように、レンズ系52, 54からなる第1結像光学系と、レンズ系57, 58からなる第2結像光学系と、これらの結像光学系の間に挿入されたマイクロレンズアレイ55と、アーチチャアレイ56とから構成されている。

【0032】

マイクロレンズアレイ55は、DMD50の各画素に対応する多数のマイクロレンズ55aが2次元状に配列されてなるものである。本例では、後述するようにDMD50の1024個×768列のマイクロミラーのうち1024個×256列だけが駆動されるので、それに対応させてマイクロレンズ55aは1024個×256列配置されている。またマイクロレンズ55aの配置ピッチは縦方向、横方向とも41μmである。このマイクロレンズ55aは、一例として焦点距離が0.19mm、NA（開口数）が0.11で、光学ガラスBK7から形成されている。なおマイクロレンズ55aの形状については、後に詳しく説明する。そして、各マイクロレンズ55aの位置におけるレーザ光Bのビーム径は、41μmである。

20

【0033】

また上記アーチチャアレイ56は、マイクロレンズアレイ55の各マイクロレンズ55aに対応する多数のアーチチャ（開口）56aが形成されてなるものであり、レンズ系54によるレーザ光Bの集光位置近傍に配置されている。なおこのアーチチャアレイ56については、後に詳しく説明する。

30

【0034】

上記第1結像光学系は、DMD50による像を3倍に拡大してマイクロレンズアレイ55上に結像する。そして第2結像光学系は、マイクロレンズアレイ55を経た像を1.6倍に拡大して感光材料150上に結像、投影する。したがって全体では、DMD50による像が4.8倍に拡大して感光材料150上に結像、投影されることになる。

【0035】

なお本例では、第2結像光学系と感光材料150との間にプリズムペア73が配設され、このプリズムペア73を図5中で上下方向に移動させることにより、感光材料150上における像のピントを調節可能となっている。なお同図中において、感光材料150は矢印F方向に副走査送りされる。

40

【0036】

DMD50は図6に示すように、SRAMセル（メモリセル）60上に、各々画素（ピクセル）を構成する多数（例えば1024個×768個）の微小ミラー（マイクロミラー）62が格子状に配列されてなるミラーデバイスである。各ピクセルにおいて、最上部には支柱に支えられた矩形のマイクロミラー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%以上であり、その配列ピッチは縦方向、横方向とも一例として13.7μmである。また、マイクロミラー62の直下には、ヒンジおよ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

50

されており、全体はモノリシックに構成されている。

【0037】

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 \pm 度（例えば ± 12 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。したがって、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に入射したレーザ光B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。

【0038】

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に接続された前記コントローラ302によって行われる。また、オフ状態のマイクロミラー62で反射したレーザ光Bが進行する方向には、光吸收体（図示せず）が配置されている。

【0039】

また、DMD50は、その短辺が副走査方向と所定角度（例えば、 $0.1^\circ \sim 5^\circ$ ）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。

【0040】

DMD50には、長手方向にマイクロミラーが多数個（例えば1024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756組）配列されているが、図8(B)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。

【0041】

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、アライメントマークに対する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。

【0042】

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。

【0043】

ファイバアレイ光源66は図9aに示すように、複数（例えば14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が結合されている。図9bに詳しく示すように、マルチモード光ファイバ31の光ファイバ30と反対側の端部は副走査方向と直交する主走査方向に沿って7個並べられ、それが2列に配列されてレーザ出射部68が構成されている。

【0044】

マルチモード光ファイバ31の端部で構成されるレーザ出射部68は、図9b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、マルチモード光ファイバ31の光出射端面には、その保護のために、ガラス等の透明な保護板が配置されるのが望ましい。マルチモード光ファイバ31の光出射端面は、光密度が高いため集塵し易く劣化し易いが、上述のような保護板を配置することにより、端面への塵埃の付着を防止し、

10

20

30

40

50

また劣化を遅らせることができる。

【0045】

本例では図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程度のクラッド径が小さい光ファイバ31が同軸的に結合されている。それらの光ファイバ30, 31は、それぞれのコア軸が一致する状態で光ファイバ31の入射端面を光ファイバ30の出射端面に融着することにより結合されている。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。

【0046】

マルチモード光ファイバ30および光ファイバ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、および複合型光ファイバの何れも適用可能である。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。本例において、マルチモード光ファイバ30および光ファイバ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 = 50 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 = 50 μm、NA = 0.2である。

10

【0047】

ただし、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多くの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以下がより好ましい。一方、シングルモード光ファイバの場合、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。また、光ファイバ30のコア径と光ファイバ31のコア径を一致させることができ、結合効率の点から好ましい。

20

【0048】

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, および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および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個に限定されるものではなく、その他の個数が採用されてもよい。また、上述のような7個のコリメータレンズ11~17に代えて、それらのレンズが一体化されてなるコリメータレンズアレイを用いることもできる。

30

【0049】

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50mW程度）である。なお、GaN系半導体レーザLD1~LD7としては、350nm~450nmの波長範囲において、上記405nm以外の波長で発振するレーザを用いてもよい。

40

【0050】

上記の合波レーザ光源は、図12および図13に示すように、他の光学要素と共に、上方が開口し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、それらによって形成される閉空間（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。

【0051】

パッケージ40の底面にはベース板42が固定されており、このベース板42の上面には、前記ヒートブロック10と、集光レンズ20を保持する集光レンズホルダー45と、マルチモード

50

光ファイバ30の入射端部を保持するファイバホルダー46とが取り付けられている。マルチモード光ファイバ30の出射端部は、パッケージ40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。

【0052】

また、ヒートブロック10の側面にはコリメータレンズホルダー44が取り付けられており、そこにコリメータレンズ11～17が保持されている。パッケージ40の横壁面には開口が形成され、この開口を通してGaN系半導体レーザLD1～LD7に駆動電流を供給する配線47がパッケージ外に引き出されている。

【0053】

なお、図13においては、図の煩雑化を避けるために、複数のGaN系半導体レーザのうちGaN系半導体レーザLD7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17にのみ番号を付している。

【0054】

図14は、上記コリメータレンズ11～17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11～17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11～17は、長さ方向がGaN系半導体レーザLD1～LD7の発光点の配列方向（図14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。

【0055】

一方GaN系半導体レーザLD1～LD7としては、発光幅が $2\text{ }\mu\text{m}$ 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光B1～B7を発するレーザが用いられている。これらGaN系半導体レーザLD1～LD7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。

【0056】

したがって、各発光点から発せられたレーザ光B1～B7は、上述のように細長形状の各コリメータレンズ11～17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11～17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光B1～B7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11～17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。

【0057】

集光レンズ20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11～17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20は、焦点距離 $f_2 = 2.3\text{ mm}$ 、NA = 0.2である。この集光レンズ20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。

【0058】

次に図15を参照して、本例の画像露光装置における電気的な構成について説明する。ここに示されるように全体制御部300には変調回路301が接続され、該変調回路301にはDM50を制御するコントローラ302が接続されている。また全体制御部300には、レーザモジュール64を駆動するLD駆動回路303が接続されている。さらにこの全体制御部300には、前記ステージ152を駆動するステージ駆動装置304が接続されている。

【0059】

[画像露光装置の動作]

次に、上記画像露光装置の動作について説明する。スキャナ162の各露光ヘッド166において、ファイバアレイ光源66の合波レーザ光源を構成するGaN系半導体レーザLD1～LD7（図11参照）の各々から発散光状態で出射したレーザ光B1，B2，B3，B4

10

20

30

40

50

, B 5 , B 6 , および B 7 の各々は、対応するコリメータレンズ11~17によって平行光化される。平行光化されたレーザ光B 1 ~ B 7 は、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 の入射端面上で収束する。

【 0 0 6 0 】

本例では、コリメータレンズ11~17および集光レンズ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。すなわち、集光レンズ20によって上述のように集光されたレーザ光B 1 ~ B 7 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本のレーザ光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。

10

【 0 0 6 1 】

各レーザモジュールにおいて、レーザ光B 1 ~ B 7 のマルチモード光ファイバ30への結合効率が0 . 9で、GaN系半導体レーザLD 1 ~ LD 7 の各出力が50 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 $315 \text{ mW} (= 50 \text{ mW} \times 0 . 9 \times 7)$ の合波レーザ光Bを得ることができる。したがって、14本のマルチモード光ファイバ31全体では、 $4 . 4 \text{ W} (= 0 . 315 \text{ W} \times 14)$ の出力のレーザ光Bが得られる。

【 0 0 6 2 】

画像露光に際しては、図15に示す変調回路301から露光パターンに応じた画像データがDMD50のコントローラ302に入力され、そ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。

20

【 0 0 6 3 】

感光材料150を表面に吸着したステージ152は、図15に示すステージ駆動装置304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。なお本例の場合、1画素部となる上記マイクロミラーのサイズは $14 \mu\text{m} \times 14 \mu\text{m}$ である。

30

【 0 0 6 4 】

ファイバアレイ光源66からDMD50にレーザ光B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上に結像される。このようにして、ファイバアレイ光源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がスキヤナ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。

【 0 0 6 5 】

40

なお本例では、図16(A)および(B)に示すように、DMD50には、主走査方向にマイクロミラーが1024個配列されたマイクロミラー列が副走査方向に768組配列されているが、本例では、コントローラ302により一部のマイクロミラー列（例えば、 $1024 \text{ 個} \times 256 \text{ 列}$ ）だけが駆動するように制御がなされる。

【 0 0 6 6 】

この場合、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。

50

【0067】

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ライン当た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ライン当た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。

【0068】

スキャナ162による感光材料150の副走査が終了し、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、ステージ駆動装置304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。

10

【0069】

次に、図5に示したファイバアレイ光源66、集光レンズ71、ロッドインテグレータ72、結像レンズ74、ミラー69およびTIRプリズム70から構成されてDMD50に照明光としてのレーザ光Bを照射する照明光学系について説明する。ロッドインテグレータ72は例えば四角柱状に形成された透光性ロッドであり、その内部をレーザ光Bが全反射しながら進行するうちに、該レーザ光Bのビーム断面内強度分布が均一化される。なお、ロッドインテグレータ72の入射端面、出射端面には反射防止膜がコートされて、透過率が高められている。以上のようにして、照明光であるレーザ光Bのビーム断面内強度分布を高度に均一化できれば、照明光強度の不均一を無くして、高精細な画像を感光材料150に露光可能となる。

20

【0070】

ここで図17に、DMD50を構成するマイクロミラー62の反射面の平面度を測定した結果を示す。同図においては、反射面の同じ高さ位置を等高線で結んで示してあり、等高線のピッチは5nmである。なお同図に示すx方向およびy方向は、マイクロミラー62の2つ対角線方向であり、マイクロミラー62はy方向と平行に延びる揺動軸を中心として前述のように揺動する。また図18の(A)および(B)にはそれぞれ、上記x方向、y方向に沿ったマイクロミラー62の反射面の高さ位置変位を示す。

【0071】

上記図17および図18に示される通り、マイクロミラー62の反射面には歪みが存在する。そして図18の(A)および(B)においてこの歪みの変化を精査すると、マイクロミラー62の揺動軸と交わるx方向ではミラー中心から±5100nm近辺の位置に歪みの変曲点が有り、上記揺動軸と平行なy方向ではミラー中心から±4500nm近辺の位置に歪みの変曲点が有り、それらの各変曲点よりもミラー中心側の領域では歪はなだらかに変化し、それよりも外側の領域では歪が比較的大きく変化している。また、y方向の歪みの変化は、x方向の歪みの変化と比べて著しく大きく、上記の傾向もより顕著となっている。マイクロミラー62の反射面に上述の歪みが存在すると、マイクロレンズアレイ55のマイクロレンズ55aで集光されたレーザ光Bの集光位置における形状が歪むという問題が発生し得る。なお図18の(A)に示される通り、上記反射面のx方向の歪みは、マイクロミラー62の中心に近い領域では比較的小さいものとなっている。

30

【0072】

本実施形態の画像露光装置においては上述の問題に対処するために、先に述べたアパー チャアレイ56(図5参照)が設けられている。アパー チャアレイ56はその正面形状を図19に示す通り、多数の楕円形のアパー チャ56aが2次元状に並設されてなるものである。上記アパー チャ56aは、マイクロレンズアレイ55のマイクロレンズ55aと各々対応させて、該マイクロレンズ55aと同数設けられている。そしてアパー チャアレイ56は、その各アパー チャ56aがマイクロレンズ55aと光軸を一致させた状態となり、かつ楕円形のアパー チャ56aの短軸がマイクロミラー62の1つの対角線方向(y方向)と対応する状態に配設されている。ここで、「アパー チャ56aの短軸がマイクロミラー62のy方向と対応する」とは、アパー チャ56aとマイクロミラー62との光学的な位置関係において両者が揃うことを意味するものである。

40

50

【 0 0 7 3 】

上述のようなアパー・チャアレイ56が設けられると、歪みの変化が比較的大きいマイクロミラー62の周辺部で反射したレーザ光Bの多くは該アパー・チャアレイ56で遮断されるので、マイクロレンズ55aで集光されたレーザ光Bの集光位置における形状が歪んでしまうという問題を防止できる。そうであればレーザ光Bにより、歪みの無い、より高精細な画像を露光可能となる。

【 0 0 7 4 】

上記アパー・チャアレイ56による基本的な作用は、勿論アパー・チャ56aの全周域に亘って得られるものであるが、本実施形態においてアパー・チャアレイ56は、図19に示される通り、その短軸がマイクロミラー62の1つの対角線方向(y方向)と対応する状態に配設されているので、このy方向およびその近辺についてはマイクロミラー62の中心から比較的短い範囲(ここは歪みの変化が比較的少ない領域である)で反射したレーザ光Bのみがアパー・チャ56aを通過するようになり、ビーム形状の歪みを防止する効果がより確実なものとなる。10

【 0 0 7 5 】

その一方、上記とは別の対角線方向、すなわち反射面の歪みの変化が小さい方の対角線方向(x方向)およびその近辺については、マイクロミラー62の中心から比較的長い範囲(ここも歪みの変化が比較的少なく、さらに歪自体も小さい領域である)で反射したレーザ光Bがアパー・チャ56aを通過するようになるので、この方向において光を必要に多く絞ることがなくなり、全体として光利用効率を高く保つことができる。このようにして光利用効率を高く確保できること、合波するレーザ光の本数を減らすことができ、よって余分な熱の発生も抑えることができる。20

【 0 0 7 6 】

なお、上記アパー・チャ56aが、その短軸がマイクロミラー62のy方向と正確に対応する状態から、やや角度がずれた状態に配置されていても、基本的に上述の効果が得られるることは勿論である。

【 0 0 7 7 】

また、本実施形態においてアパー・チャアレイ56のアパー・チャ56aは橢円形とされているが、図20に示す長円形のアパー・チャ56bや、あるいは図21に示す細長い多角形状のアパー・チャ56cを採用することも可能であり、そのようにした場合も、アパー・チャ56aを橢円形とした場合と基本的に同様の効果を奏すことができる。30

【 0 0 7 8 】

また本発明の画像露光装置において用いられる開口板は、上記実施形態におけるアパー・チャアレイ56のようにマイクロレンズアレイ55と別体にして、それよりもDMD50側に配置する他、マイクロレンズアレイ55と一体的に形成されても構わない。図22および図23は、そのように形成された開口板の例を示すものである。図22に示す構成においては、マイクロレンズアレイ55のマイクロレンズ55aが形成された面と反対側(DMD側)の面に、細長い開口356aを有する遮光性マスク356が例えば蒸着等によって形成され、この遮光性マスク356が開口板として作用するようになっている。また図23に示す構成においては、マイクロレンズアレイ55のマイクロレンズ55aが形成された面に上記と同様の遮光性マスク356が形成され、この遮光性マスク356が開口板として作用するようになっている。40

【 0 0 7 9 】

さらに、本発明の画像露光装置において開口板をマイクロレンズアレイと別体に形成する場合、その設置位置はDMDとマイクロレンズアレイとの間に限られるものではなく、DMDより光源側に開口板を設置してもよい。

【 図面の簡単な説明 】**【 0 0 8 0 】**

【図1】本発明の一実施形態である画像露光装置の外観を示す斜視図

【図2】図1の画像露光装置のスキャナの構成を示す斜視図50

【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、(B)は各露光ヘッドによる露光エリアの配列を示す図

【図4】図1の画像露光装置の露光ヘッドの概略構成を示す斜視図

【図5】上記露光ヘッドの断面図

【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

【図7】(A)および(B)はDMDの動作を説明するための説明図

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

【図9a】ファイバアレイ光源の構成を示す斜視図

【図9b】ファイバアレイ光源のレーザ出射部における発光点の配列を示す正面図

10

【図10】マルチモード光ファイバの構成を示す図

【図11】合波レーザ光源の構成を示す平面図

【図12】レーザモジュールの構成を示す平面図

【図13】図12に示すレーザモジュールの構成を示す側面図

【図14】図12に示すレーザモジュールの構成を示す部分正面図

【図15】上記画像露光装置の電気的構成を示すブロック図

【図16】(A)および(B)は、DMDの使用領域の例を示す図

【図17】DMDを構成するマイクロミラーの反射面の歪みを等高線で示す図

【図18】上記マイクロミラーの反射面の歪みを、該ミラーの2つの対角線方向について示すグラフ

20

【図19】図1の画像露光装置に用いられた開口板を示す正面図

【図20】開口板の別の開口形状例を示す概略図

【図21】開口板のさらに別の開口形状例を示す概略図

【図22】開口板の別の例を示す側面図

【図23】開口板のさらに別の例を示す側面図

【符号の説明】

【0081】

L D 1 ~ L D 7 G a N 系半導体レーザ

30、31 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)

30

51 拡大結像光学系

52、54 第1結像光学系のレンズ

55 マイクロレンズアレイ

56 アパーチャアレイ

56a、56b、56c アパーチャ(開口)

57、58 第2結像光学系のレンズ

66 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

72 ロッドインテグレータ

40

150 感光材料

152 ステージ

162 スキャナ

166 露光ヘッド

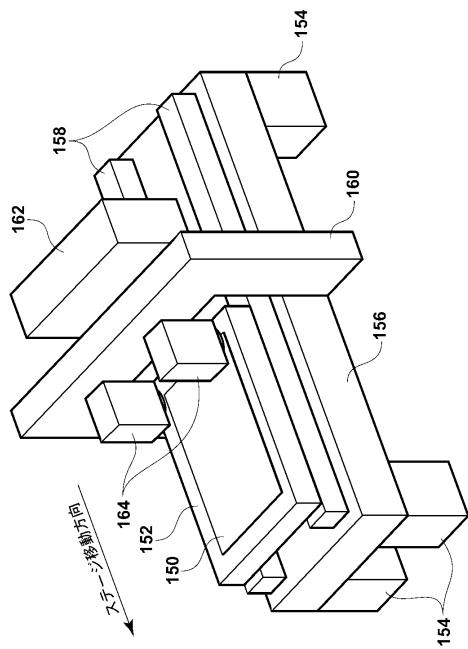
168 露光エリア

170 露光済み領域

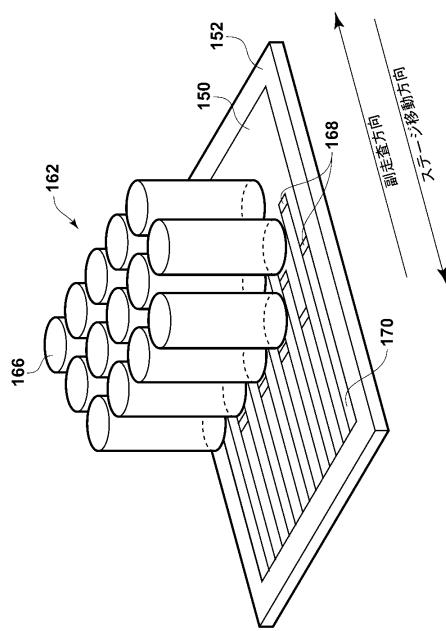
356 遮光性マスク

356a 遮光性マスクの開口

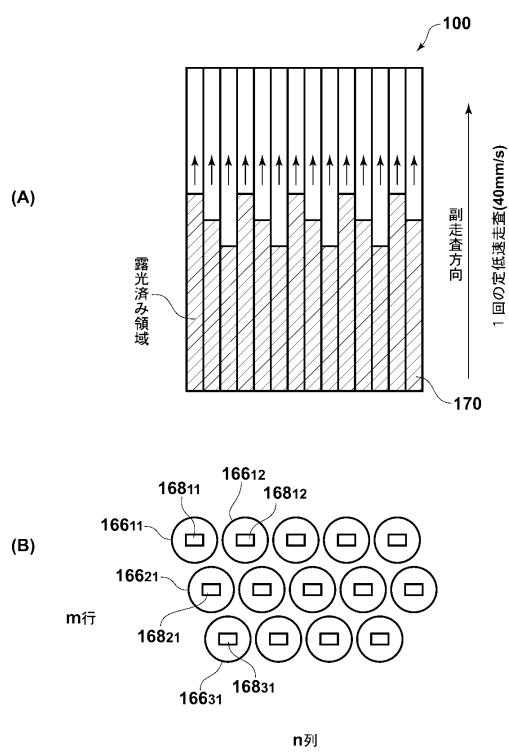
【図1】



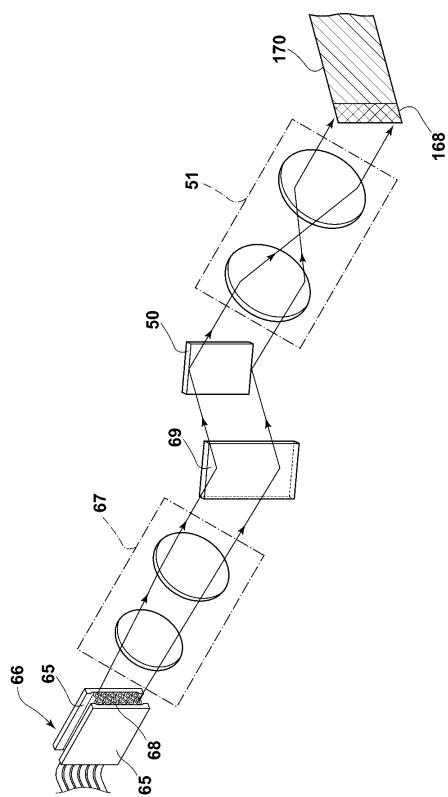
【図2】



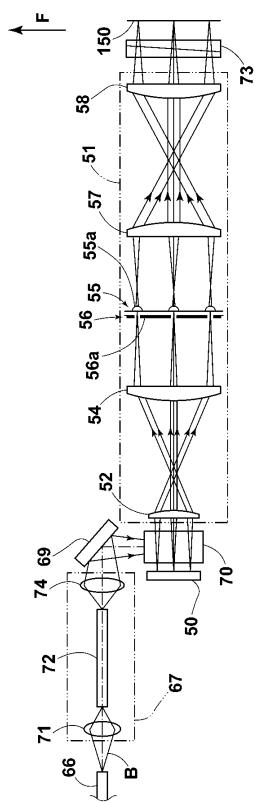
【図3】



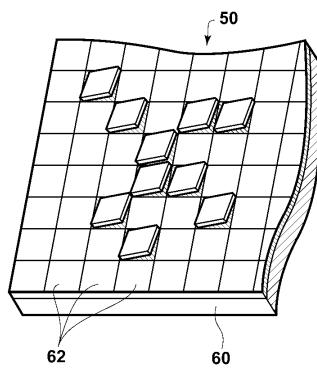
【図4】



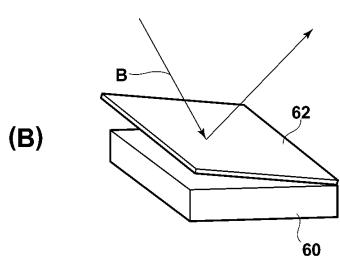
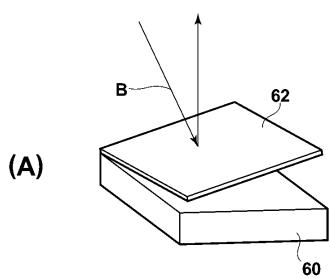
【図5】



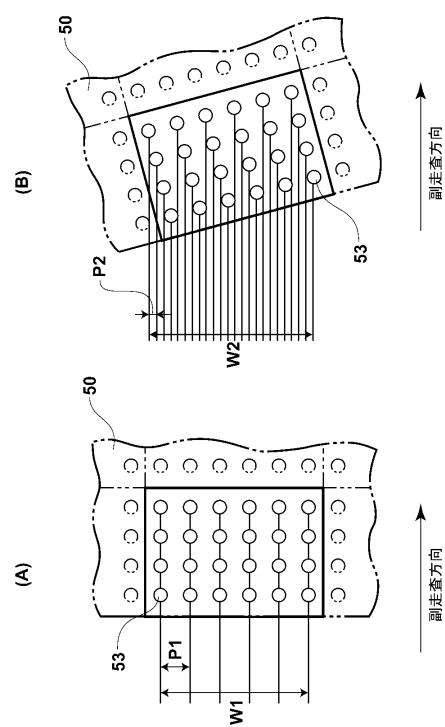
【図6】



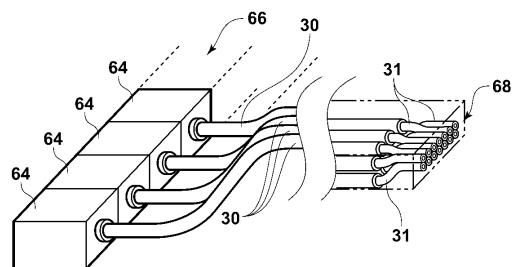
【図7】



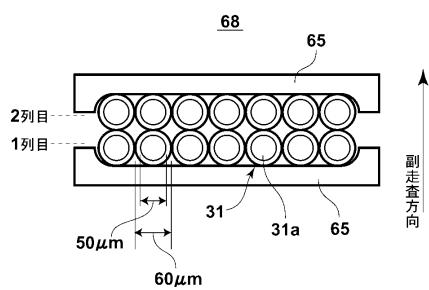
【図8】



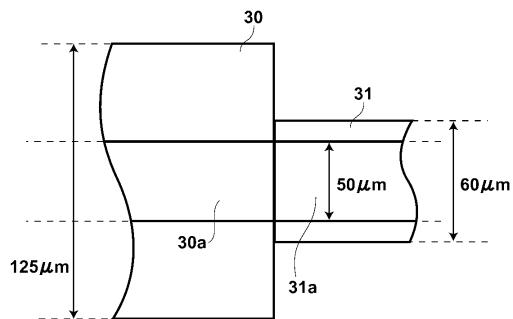
【図 9 a】



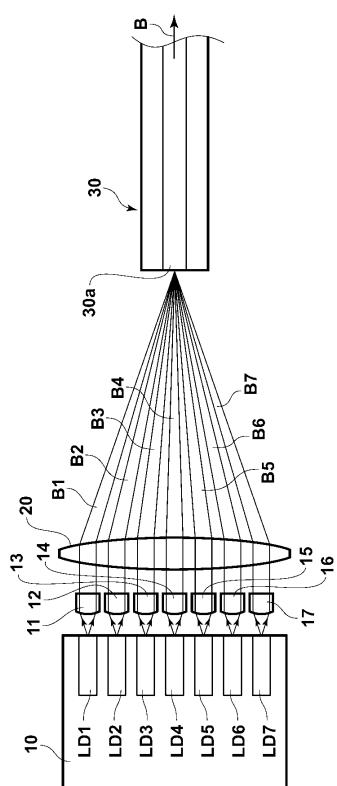
【図 9 b】



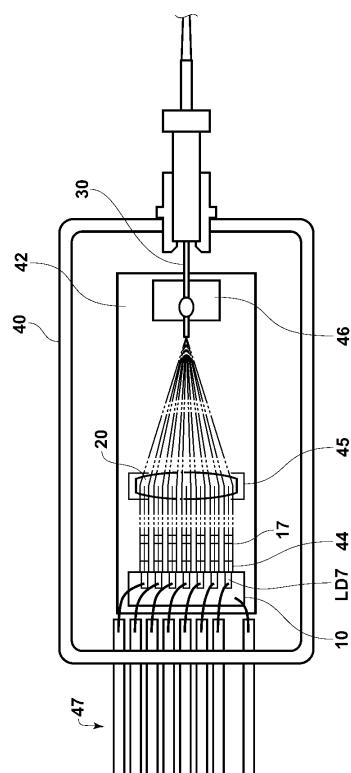
【図 10】



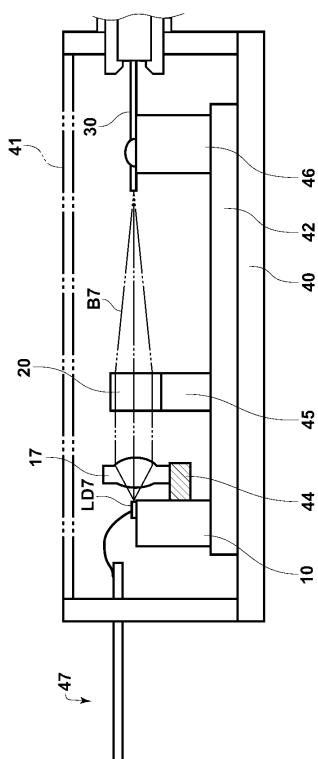
【図 11】



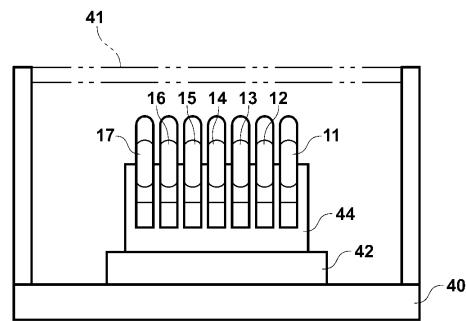
【図 12】



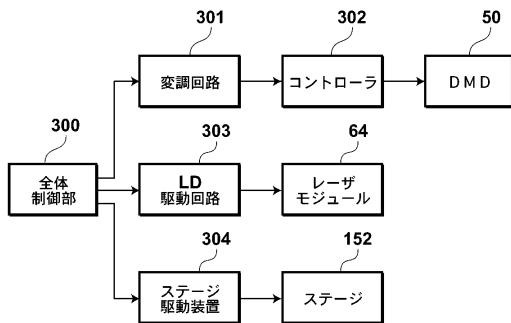
【図13】



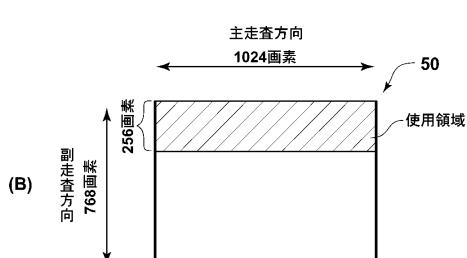
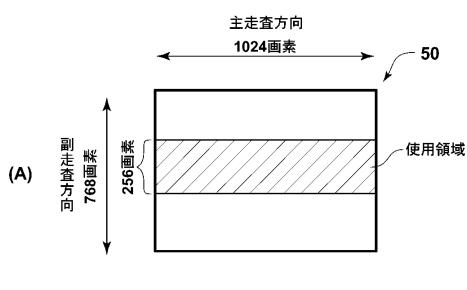
【図14】



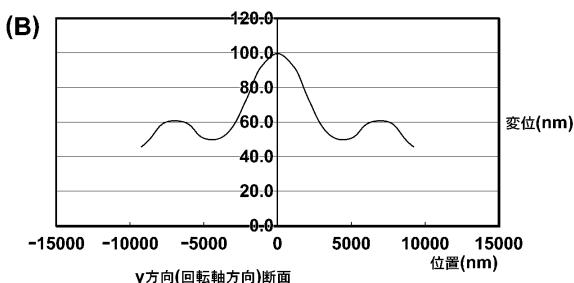
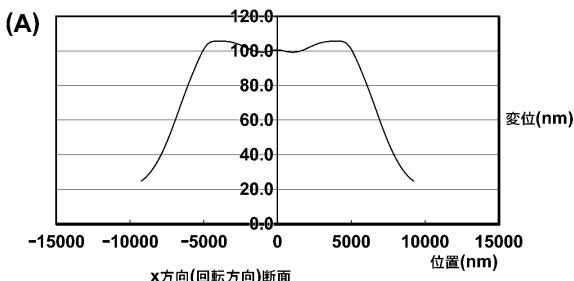
【図15】



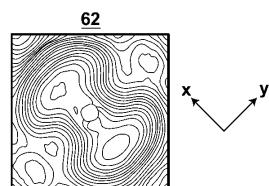
【図16】



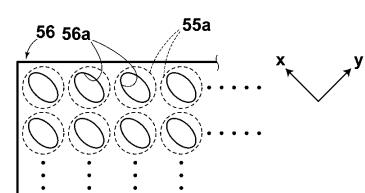
【図18】



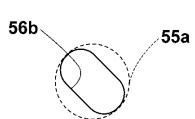
【図17】



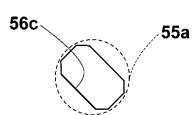
【図19】



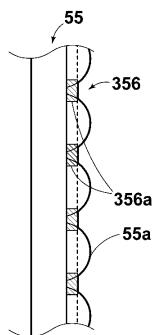
【図20】



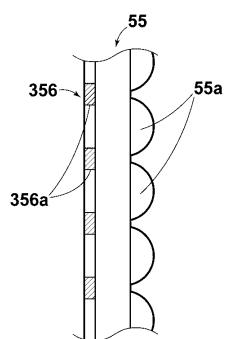
【図21】



【図23】



【図22】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2003-345030(JP,A)
特開2003-270589(JP,A)
特開2002-319532(JP,A)
特開平04-291376(JP,A)
特開平11-334140(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 03 B 27 / 32
G 02 B 26 / 08