

(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2010-3750
(P2010-3750A)

(43) 公開日 平成22年1月7日(2010.1.7)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
H O 1 S 5/183 (2006.01)	H O 1 S 5/183	5 F 1 7 3
H O 1 S 5/42 (2006.01)	H O 1 S 5/42	
H O 1 S 5/042 (2006.01)	H O 1 S 5/042 6 1 2	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2008-159301 (P2008-159301)	(71) 出願人	000006747
(22) 出願日	平成20年6月18日 (2008. 6. 18)		株式会社リコー
			東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号
		(74) 代理人	100102901
			弁理士 立石 篤司
		(72) 発明者	石井 稔浩
			東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式
			会社リコー内
		F ターム (参考)	5F173 AC03 AC13 AC35 AC42 AC61
			AD05 AF05 AH13 AK21 AK23
			AL07 AL10 AL13 AL14 AP06
			AP24 AP33 AP67 AP71 AP73
			AP79 AR33 AR53 AR55 AR56
			AR61 AR93 AR99 MA06 SC07

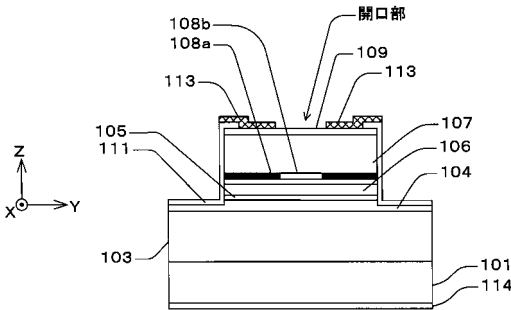
(54) 【発明の名称】 面発光レーザアレイ、光走査装置及び画像形成装置

(57) 【要約】

【課題】 面発光レーザアレイの製品歩留まりを向上させる。

【解決手段】 基板 1 0 1 と、基板 1 0 1 上に積層され、複数の光出射部を有する多層の半導体層と、複数の光出射部に対応して設けられ、光の通路となる開口部を有する複数の p 側の電極 1 1 3 と、複数の p 側の電極 1 1 3 に対応して設けられた複数の電極パッドと、複数の p 側の電極 1 1 3 のそれぞれを、対応する電極パッドに電気的に接続する複数の配線とを備える。そして、p 側の電極 1 1 3 の開口部における開口幅の最大値が、電気的に絶縁されている領域の最小幅よりも小さくなるように設定する。これにより、リフトオフ工程で剥離した金属片が再付着しても「同時発光現象」の発生を抑制することができ、製品歩留まりを向上させることが可能となる。

【選択図】 図 6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板と；

前記基板上に積層され、複数の光出射部を有する多層の半導体層と；

前記複数の光出射部に対応して設けられ、光の通路となる開口部を有する複数の電極と

；

前記複数の電極に対応して設けられた複数の電極パッドと；

前記複数の電極のそれぞれを、対応する電極パッドに電氣的に接続する複数の配線と；
を備え、

前記開口部における開口幅の最大値は、電氣的に絶縁されている領域の最小幅よりも小さいことを特徴とする面発光レーザアレイ。

10

【請求項 2】

前記開口部は、第 1 の方向に関する開口幅と前記第 1 の方向に直交する第 2 の方向に関する開口幅との比が、ニア・フィールド・パターンにおける前記第 1 の方向に関するビーム幅と前記第 2 の方向に関するビーム幅との比と同じであることを特徴とする請求項 1 に記載の面発光レーザアレイ。

【請求項 3】

前記開口部の外形は、ニア・フィールド・パターンと相似形であることを特徴とする請求項 2 に記載の面発光レーザアレイ。

【請求項 4】

前記電氣的に絶縁されている領域の最小幅は、電極パッド間の間隙の最小値であることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一項に記載の面発光レーザアレイ。

20

【請求項 5】

前記電氣的に絶縁されている領域の最小幅は、配線間の間隙の最小値であることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一項に記載の面発光レーザアレイ。

【請求項 6】

前記電氣的に絶縁されている領域の最小幅は、電極と配線との間の間隙の最小値であることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一項に記載の面発光レーザアレイ。

【請求項 7】

前記開口部の外形は、正形状であり、前記開口部における開口幅の最大値は、前記正方形の対角線の長さであることを特徴とする請求項 1～6 のいずれか一項に記載の面発光レーザアレイ。

30

【請求項 8】

前記開口部の外形は、円形状であり、前記開口部における開口幅の最大値は、前記円の直径であることを特徴とする請求項 1～6 のいずれか一項に記載の面発光レーザアレイ。

【請求項 9】

光によって被走査面を走査する光走査装置であって、

請求項 1～8 のいずれか一項に記載の面発光レーザアレイを有する光源と；

前記光源からの光を偏向する偏向器と；

前記偏向器で偏向された光を前記被走査面上に集光する走査光学系と；を備える光走査装置。

40

【請求項 10】

少なくとも 1 つの像担持体と；

前記少なくとも 1 つの像担持体に対して画像情報が含まれる光を走査する少なくとも 1 つの請求項 9 に記載の光走査装置と；を備える画像形成装置。

【請求項 11】

前記画像情報は、多色のカラー画像情報であることを特徴とする請求項 10 に記載の画像形成装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

50

【0001】

本発明は、面発光レーザアレイ、光走査装置及び画像形成装置に係り、更に詳しくは、複数の発光部を有する面発光レーザアレイ、該面発光レーザアレイを有する光走査装置、及び該光走査装置を備える画像形成装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電子写真の画像記録において、高精細な画像品質を得るための画像形成手段として、レーザ光を用いた画像形成方法が広く用いられている。電子写真の場合、感光性を有するドラムの軸方向に、ポリゴンミラーを用いてレーザ光を走査（主走査）しつつ、ドラムを回転（副走査）させて、ドラム表面に潜像を形成する方法が一般的である。

10

【0003】

このような電子写真分野では画像品質の高精細化及び画像出力の高速化が求められている。画像品質の高精細化については、画像の解像度が2倍になった場合、主走査・副走査ともに2倍の時間が必要となるため、画像出力時においては4倍の時間が必要となる。従って画像品質の高精細化を実現するには、画像出力の高速化も同時に達成する必要がある。

【0004】

画像出力の高速化を実現するための方法として、レーザ光の高出力化、マルチビーム化、感光体の高感度化などが考えられる。なかでも、高速出力機においてはマルチビーム化された書込み光源（マルチビーム光源）を用いるのが一般的となっている。1本のレーザ光を用いた場合と比較して、 n 本のレーザ光を同時に用いた場合、一度の走査での潜像形成領域は n 倍となり、画像形成に必要な時間は $1/n$ となる。

20

【0005】

例えば、特許文献1には、同一基板に複数の光電変換部を備えた光電変換素子が開示されている。また、特許文献2には、同一基板に複数の発光部を備えた半導体発光素子が開示されている。特許文献1及び特許文献2に開示されている各素子は、複数の端面発光型半導体レーザ（端面発光レーザ）が1次元配置された構成である。これらの場合には、ビーム数が多くなると消費電力が大きくなり、冷却システムが新規に必要となるため、コスト上、4ビーム若しくは8ビーム程度が限界であった。

【0006】

これに対し、近年盛んに研究が行われている面発光レーザ（Vertical Cavity Surface Emitting Laser）は、消費電力が端面発光レーザに比べて一桁程度小さい。また、面発光レーザでは、容易に多くの発光部を2次元的に集積し、アレイ化することができる。そのため、複数の発光部を有する面発光レーザアレイは、画像形成装置における高速化及び高密度化を達成するための光源として期待されている（例えば、特許文献3～5参照）。

30

【0007】

ところで、複数の発光部をそれぞれを個別に駆動制御する際に、発光対象の発光部と異なる発光部が、意図せずに同時に発光する現象（以下では、便宜上「同時発光現象」と略述する）を示す面発光レーザアレイがみられた。これは、画像品質を低下させるため、そのような面発光レーザアレイは、不良品となる。その結果、製品歩留まりが低下することとなる。

40

【0008】

例えば、特許文献6には、共通電極構造に起因した共通インピーダンスと信号配線ワイヤ間の電磁誘導によるチャンネル間クロストークを抑制するマルチチャンネル光素子搭載基板が開示されている。

【0009】

【特許文献1】特開平11-340570号公報

【特許文献2】特開平11-354888号公報

【特許文献3】特開2005-274755号公報

50

【特許文献4】特開2005-234510号公報

【特許文献5】特開2001-272615号公報

【特許文献6】特開2003-14994号公報

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0010】

発明者らは、面発光レーザアレイで上記「同時発光現象」がなぜ起きるのかを鋭利検討した。そして、「同時発光現象」が発生した面発光レーザアレイでは、発光部に対応する電極パッドに異常があることを見出した。具体的には、本来電氣的に絶縁状態でなければならない隣接電極パッド間の領域（間隙）に異物が付着しており、この異物が隣接する電極パッドを導通（ショート）させていた。この異物に対して、組成分析など様々な分析を行ったところ、異物はパターニングされている電極と同じ成分の金属片であることが判った。

10

【0011】

さらに発明者らは、この金属片がどのプロセスのどこから発生するか、探索したところ、製造プロセスにおけるリフトオフ工程で発生していることが判った。すなわち、この金属片は、製造プロセス中に除去された金属片が再付着したものであった。

【0012】

このように、面発光レーザアレイにおける「同時発光現象」は、面発光レーザアレイに固有なものであり、特許文献6に開示されている方法では、製品歩留まりを向上させることは困難であった。

20

【0013】

本発明は、上述した発明者等の得た新規知見に基づいてなされたものであり、以下の構成を有している。

【0014】

本発明は、第1の観点からすると、基板と；前記基板上に積層され、複数の光出射部を有する多層の半導体層と；前記複数の光出射部に対応して設けられ、光の通路となる開口部を有する複数の電極と；前記複数の電極に対応して設けられた複数の電極パッドと；前記複数の電極のそれぞれを、対応する電極パッドに電氣的に接続する複数の配線と；を備え、前記開口部における開口幅の最大値は、電氣的に絶縁されている領域の最小幅よりも小さいことを特徴とする面発光レーザアレイである。

30

【0015】

これによれば、金属片が再付着しても「同時発光現象」の発生を抑制することができる。そこで、製品歩留まりを向上させることが可能となる。

【0016】

本発明は、第2の観点からすると、光によって被走査面を走査する光走査装置であって、本発明の面発光レーザアレイを有する光源と；前記光源からの光を偏向する偏向器と；前記偏向器で偏向された光を前記被走査面上に集光する走査光学系と；を備える光走査装置である。

【0017】

これによれば、光源が本発明の面発光レーザアレイを有しているため、高コスト化を招くことなく、高密度の光走査を行うことが可能となる。

40

【0018】

本発明は、第3の観点からすると、少なくとも1つの像担持体と；前記少なくとも1つの像担持体に対して画像情報が含まれる光を走査する少なくとも1つの本発明の光走査装置と；を備える画像形成装置である。

【0019】

これによれば、少なくとも1つの本発明の光走査装置を備えているため、結果として、高コスト化を招くことなく、高精細な画像を高速で形成することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

50

【0020】

以下、本発明の一実施形態を図1～図21を用いて説明する。図1には、本発明の一実施形態に係るレーザプリンタ1000の概略構成が示されている。

【0021】

このレーザプリンタ1000は、光走査装置1010、感光体ドラム1030、帯電チャージャ1031、現像ローラ1032、転写チャージャ1033、除電ユニット1034、クリーニングユニット1035、トナーカートリッジ1036、給紙コロ1037、給紙トレイ1038、レジストローラ対1039、定着ローラ1041、排紙ローラ1042、排紙トレイ1043、通信制御装置1050、及び上記各部を統括的に制御するプリンタ制御装置1060などを備えている。なお、これらは、プリンタ筐体1044の中

10

【0022】

通信制御装置1050は、ネットワークなどを介した上位装置（例えばパソコン）との双方向の通信を制御する。

【0023】

感光体ドラム1030は、円柱状の部材であり、その表面には感光層が形成されている。すなわち、感光体ドラム1030の表面が被走査面である。そして、感光体ドラム1030は、図1における矢印方向に回転するようになっている。

【0024】

帯電チャージャ1031、現像ローラ1032、転写チャージャ1033、除電ユニット1034及びクリーニングユニット1035は、それぞれ感光体ドラム1030の表面近傍に配置されている。そして、感光体ドラム1030の回転方向に沿って、帯電チャージャ1031→現像ローラ1032→転写チャージャ1033→除電ユニット1034→クリーニングユニット1035の順に配置されている。

20

【0025】

帯電チャージャ1031は、感光体ドラム1030の表面を均一に帯電させる。

【0026】

光走査装置1010は、帯電チャージャ1031で帯電された感光体ドラム1030の表面に、上位装置からの画像情報に基づいて変調された光束を照射する。これにより、画像情報に対応した潜像が感光体ドラム1030の表面に形成される。ここで形成された潜像は、感光体ドラム1030の回転に伴って現像ローラ1032の方向に移動する。なお、この光走査装置1010の構成については後述する。

30

【0027】

トナーカートリッジ1036にはトナーが格納されており、該トナーは現像ローラ1032に供給される。

【0028】

現像ローラ1032は、感光体ドラム1030の表面に形成された潜像にトナーカートリッジ1036から供給されたトナーを付着させて画像情報を顕像化させる。ここでトナーが付着した潜像（以下では、便宜上「トナー像」ともいう）は、感光体ドラム1030の回転に伴って転写チャージャ1033の方向に移動する。

40

【0029】

給紙トレイ1038には記録紙1040が格納されている。この給紙トレイ1038の近傍には給紙コロ1037が配置されており、該給紙コロ1037は、記録紙1040を給紙トレイ1038から1枚ずつ取り出し、レジストローラ対1039に搬送する。該レジストローラ対1039は、給紙コロ1037によって取り出された記録紙1040を一旦保持するとともに、該記録紙1040を感光体ドラム1030の回転に合わせて感光体ドラム1030と転写チャージャ1033との間隙に向けて送り出す。

【0030】

転写チャージャ1033には、感光体ドラム1030の表面上のトナーを電氣的に記録紙1040に引きつけるために、トナーとは逆極性の電圧が印加されている。この電圧に

50

より、感光体ドラム 1030 の表面のトナー像が記録紙 1040 に転写される。ここで転写された記録紙 1040 は、定着ローラ 1041 に送られる。

【0031】

定着ローラ 1041 では、熱と圧力とが記録紙 1040 に加えられ、これによってトナーが記録紙 1040 上に定着される。ここで定着された記録紙 1040 は、排紙ローラ 1042 を介して排紙トレイ 1043 に送られ、排紙トレイ 1043 上に順次スタックされる。

【0032】

除電ユニット 1034 は、感光体ドラム 1030 の表面を除電する。

【0033】

クリーニングユニット 1035 は、感光体ドラム 1030 の表面に残ったトナー（残留トナー）を除去する。残留トナーが除去された感光体ドラム 1030 の表面は、再度帯電チャージャ 1031 に対向する位置に戻る。

【0034】

次に、前記光走査装置 1010 の構成について説明する。

【0035】

この光走査装置 1010 は、一例として図 2 に示されるように、 $f\theta$ レンズ 11a、トロイダルレンズ 11b、ポリゴンミラー 13、光源 14、カップリングレンズ 15、開口板 16、シリンドリカルレンズ 17、反射ミラー 18、及び走査制御装置（図示省略）などを備えている。そして、これらは、ハウジング 30 の中の所定位置に組み付けられている。

【0036】

なお、以下では、便宜上、主走査方向に対応する方向を「主走査対応方向」と略述し、副走査方向に対応する方向を「副走査対応方向」と略述する。

【0037】

カップリングレンズ 15 は、光源 14 から射出された光束を略平行光とする。光源 14 とカップリングレンズ 15 はアルミニウム製の保持部材に固定され、ユニット化されている。

【0038】

開口板 16 は、開口部を有し、カップリングレンズ 15 を介した光束のビーム径を規定する。

【0039】

シリンドリカルレンズ 17 は、開口板 16 の開口部を通過した光束を、反射ミラー 18 を介してポリゴンミラー 13 の偏向反射面近傍に副走査対応方向に関して結像する。

【0040】

光源 14 とポリゴンミラー 13 との間の光路上に配置される光学系は、偏向器前光学系とも呼ばれている。本実施形態では、偏向器前光学系は、カップリングレンズ 15 と開口板 16 とシリンドリカルレンズ 17 と反射ミラー 18 とから構成されている。

【0041】

ポリゴンミラー 13 は、一例として内接円の半径が 18 mm の 6 面鏡を有し、各鏡がそれぞれ偏向反射面となる。このポリゴンミラー 13 は、副走査対応方向に平行な軸の周りを等速回転しながら、反射ミラー 18 からの光束を偏向する。

【0042】

$f\theta$ レンズ 11a は、ポリゴンミラー 13 で偏向された光束の光路上に配置されている。

【0043】

トロイダルレンズ 11b は、 $f\theta$ レンズ 11a を介した光束の光路上に配置されている。そして、このトロイダルレンズ 11b を介した光束が、感光体ドラム 1030 の表面に照射され、光スポットが形成される。この光スポットは、ポリゴンミラー 13 の回転に伴って感光体ドラム 1030 の長手方向に移動する。すなわち、感光体ドラム 1030 の表

10

20

30

40

50

面が光走査される。このときの光スポットの移動方向が「主走査方向」である。また、感光体ドラム 1030 の回転方向が「副走査方向」である。

【0044】

ポリゴンミラー 13 と感光体ドラム 1030 との間の光路上に配置される光学系は、走査光学系とも呼ばれている。本実施形態では、走査光学系は、 $f\theta$ レンズ 11a とトロイダルレンズ 11b とから構成されている。なお、 $f\theta$ レンズ 11a とトロイダルレンズ 11b の間の光路上、及びトロイダルレンズ 11b と感光体ドラム 1030 の間の光路上の少なくとも一方に、少なくとも 1 つの折り返しミラーが配置されても良い。

【0045】

光源 14 は、一例として図 3 に示されるように、面発光レーザアレイ 100 を有している。

10

【0046】

この面発光レーザアレイ 100 は、複数の発光部、該複数の発光部に対応した複数の電極パッド、及び各電極パッドとそれに対応する発光部とを電氣的に接続する複数の配線が同一基板上に形成されている。なお、図 3 における M 方向は主走査対応方向であり、S 方向は副走査対応方向である。

【0047】

ここでは、面発光レーザアレイ 100 は、図 4 に示されるように、M 方向から S 方向に向かって傾斜した方向である T 方向に沿って 8 個の発光部が等間隔に配置された発光部列を 4 列有している。そして、これら 4 列の発光部列は、すべての発光部を S 方向に伸びる仮想線上に正射影したときに等間隔 c となるように、S 方向に等間隔 d で配置されている。すなわち、32 個の発光部が 2 次元的に配列されている。なお、本明細書では、「発光部間隔」とは 2 つの発光部の中心間距離をいう。

20

【0048】

ここでは、間隔 c は $3\mu\text{m}$ 、間隔 d は $24\mu\text{m}$ 、M 方向の発光部間隔 X (図 4 参照) は $30\mu\text{m}$ である。

【0049】

各発光部は、図 4 の A-A 断面図である図 5、及び図 5 の一部を拡大した図 6 に示されるように、基板 101、下部半導体 DBR 103、下部スペーサ層 104、活性層 105、上部スペーサ層 106、上部半導体 DBR 107、コンタクト層 109 などを有し、発振波長が 780nm 帯のレーザ光を射出する。なお、本明細書では、レーザ発振方向を Z 軸方向とし、Z 軸方向に垂直な面内における互いに直交する 2 つの方向を X 軸方向及び Y 軸方向として説明する。

30

【0050】

基板 101 は、表面が鏡面研磨面であり、図 7 (A) に示されるように、鏡面研磨面の法線方向が、結晶方位 $[100]$ 方向に対して、結晶方位 $[111]$ A 方向に向かって 15° ($\theta = 15^\circ$) 傾斜した $n\text{-GaAs}$ 単結晶基板である。すなわち、基板 101 はいわゆる傾斜基板である。ここでは、図 7 (B) に示されるように、結晶方位 $[01-1]$ 方向が +X 方向、結晶方位 $[0-11]$ 方向が -X 方向となるように配置されている。

40

【0051】

下部半導体 DBR 103 は、不図示のバッファ層を介して基板 101 の +Z 側の面上に積層され、 $n\text{-AlAs}$ からなる低屈折率層 103a と、 $n\text{-Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ からなる高屈折率層 103b のペアを 40.5 ペア有している。各屈折率層の間には、電気抵抗を低減するため、一方の組成から他方の組成へ向かって組成を徐々に変化させた厚さ 20nm の組成傾斜層 (図示省略) が設けられている。そして、各屈折率層はいずれも、隣接する組成傾斜層の $1/2$ を含んで、発振波長を λ とすると $\lambda/4$ の光学厚さとなるように設定されている。

【0052】

下部スペーサ層 104 は、下部半導体 DBR 103 の +Z 側に積層され、ノンドープの

50

($\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}$) $_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる層である。

【0053】

活性層105は、下部スペーサ層104の+Z側に積層され、一例として図8に示されるように、3層の量子井戸層105aと4層の障壁層105bとを有している。各量子井戸層105aは、0.7%の圧縮歪みを誘起する組成であるGaInPAsからなり、バンドギャップ波長が約780nmである。また、各障壁層105bは、0.6%の引張歪みを誘起する組成であるGa $_{0.68}\text{In}_{0.32}\text{P}$ からなる。

【0054】

ところで、歪みが増加すると、ヘビーホールとライトホールのバンド分離が大きくなるため、利得の増加が大きくなり、低閾値化するとともに高効率化（高出力化）する。さらには、キャリア閉じ込め性の向上及び低閾値化によって、上部半導体DBRの反射率低減が可能となり、さらに高出力化を実現できる。

【0055】

上部スペーサ層106は、活性層105の+Z側に積層され、ノンドープの($\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}$) $_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる層である。

【0056】

下部スペーサ層104と活性層105と上部スペーサ層106とからなる部分は、共振器構造体とも呼ばれており、その厚さが1波長の光学厚さとなるように設定されている。なお、活性層105は、高い誘導放出確率が得られるように、電界の定在波分布における腹に対応する位置である共振器構造体の中央に設けられている。

【0057】

上部半導体DBR107は、上部スペーサ層106の+Z側に積層され、低屈折率層と高屈折率層のペアを23ペア有している。そして、各屈折率層の間には、電気抵抗を低減するため、一方の組成から他方の組成へ向かって組成を徐々に変化させた組成傾斜層（図示省略）が設けられている。

【0058】

上部半導体DBR107における低屈折率層の1つには、一例として図9に示されるように、p-AlAsからなる被選択酸化層108が厚さ30nmで挿入されている。この被選択酸化層108の挿入位置は、上部スペーサ層106から光学的に $5\lambda/4$ 離れた位置であり、上部スペーサ層106から3ペア目の低屈折率層中である。そして、被選択酸化層108が含まれる低屈折率層は、隣接する組成傾斜層の $1/2$ を含んで、 $3\lambda/4$ の光学厚さとなるように設定されている。

【0059】

上部半導体DBR107における被選択酸化層108が含まれる低屈折率層を除く各屈折率層はいずれも、隣接する組成傾斜層の $1/2$ を含んで、 $\lambda/4$ の光学厚さとなるように設定されている。

【0060】

被選択酸化層108の-Z側及び+Z側には、一例として図9に示されるように、p- $\text{Al}_{0.81}\text{Ga}_{0.19}\text{As}$ からなる厚さ38nmの中間層107mが設けられている。

【0061】

被選択酸化層108が含まれる低屈折率層における各中間層107mに隣接する層107c（以下では、「低屈折率層107c」という）は、p- $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$ からなる層である。

【0062】

上部半導体DBR107における被選択酸化層108が含まれる低屈折率層以外の低屈折率層107aは、p- $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ からなる層である。

【0063】

また、上部半導体DBR107における高屈折率層107bは、p- $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ からなる層である。

【0064】

コンタクト層109は、上部半導体DBR107の+Z側に積層され、p-GaAsからなる層である。

【0065】

なお、このように基板101上に複数の半導体層が積層されたものを、以下では、便宜上「積層体」ともいう。

【0066】

次に、面発光レーザアレイ100の製造方法について簡単に説明する。

【0067】

(1) 上記積層体を有機金属気相成長法(MOCVD法)あるいは分子線エピタキシャル成長法(MBE法)による結晶成長によって作成する。

10

【0068】

ここでは、III族の原料には、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルガリウム(TMg)、トリメチルインジウム(TMI)を用い、V族の原料には、フォスフィン(PH₃)、アルシン(AsH₃)を用いている。また、p型ドーパントの原料には四臭化炭素(CBr₄)、ジメチルジンク(DMZn)を用い、n型ドーパントの原料にはセレン化水素(H₂Se)を用いている。なお、キャリアガスには、H₂を用いている。特に、MOCVD法は、原料ガスの供給量を制御することで、組成傾斜層のような構成を容易に形成できるので、半導体DBRを含んだ面発光レーザ素子の結晶成長方法としてMBE法に比べて適している。またMBE法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので、量産性にも優れている。

20

【0069】

(2) 積層体の表面における発光部となる複数の領域のそれぞれに、一辺が20μmの正形状のレジストパターンを形成する。

【0070】

(3) Cl₂ガスを用いるECRエッチング法で、上記レジストパターンをフォトマスクとして四角柱状のメサを形成する。ここでは、エッチングの底面は下部スペーサ層104中に位置するようにしている。

【0071】

ところで、2つの発光部の間の溝は、各発光部の電氣的及び空間的分離のために、5μm以上とすることが好ましい。あまり狭いと製造時のエッチングの制御が難しくなるからである。また、メサの大きさ(1辺の長さ)は10μm以上とすることが好ましい。あまり小さいと動作時に熱がこもり、特性が低下するおそれがあるからである。

30

【0072】

(4) フォトマスクを除去する。

【0073】

(5) 積層体を水蒸気中で熱処理する。これにより、被選択酸化層108中のAl(アルミニウム)がメサの外周部から選択的に酸化され、メサの中央部に、Alの酸化層108aによって囲まれた酸化されていない領域108bが残留する(図6参照)。すなわち、発光部の駆動電流の経路をメサの中央部だけに制限する、いわゆる酸化狭窄構造体が形成される。上記酸化されていない領域108bが電流通過領域(電流注入領域)である。なお、ここでは、種々の予備実験の結果から、電流通過領域が所望の形状及び大きさとなるように、熱処理条件(保持温度、保持時間等)を適切に選択している。

40

【0074】

(6) 気相化学堆積法(CVD法)を用いて、SiNあるいはSiO₂からなる保護層111を形成する。

【0075】

(7) コンタクト層109上の保護層111を部分的に除去する。ここでは、保護層111を残す部分をフォトリソによりマスクした後、マスクされていない保護層111をBHFにてエッチングする。

50

【0076】

(8) メサ上にフォトレジストをスピンコータ等で均一な膜厚で塗布する。ここでのフォトレジストの膜厚はリフトオフの制御性などから決定される。なお、本実施形態では数 μm としている。

【0077】

(9) フォトレジストを加熱（バーク）し、硬化させる。なお、本実施形態では、リフトオフの制御性を考えて、バーク温度を一般的な温度よりも低め（約 80°C ）に設定した。

【0078】

(10) フォトレジストをフォトリソグラフィ手法によって露光・現像し、リフトオフ用のレジストパターンを形成する。このレジストパターンは、p側の電極、電極パッド及び配線が形成される領域以外の領域をマスクするパターンとなっている。

10

【0079】

(11) リフトオフ用のレジストパターンが形成された積層体上に金属を蒸着する。ここでは、メサの側面（傾斜面）にも配線する必要があり、傾斜面での配線の膜厚を確保するために、極端に厚く成膜する。一般的なシリコン半導体における配線の膜厚と比較すると、数十倍の厚さとなる。

【0080】

蒸着される金属は、下地との密着性や合金化などを考慮して、複数の金属膜からなる積層構造体とするのが好ましい。本実施形態では、p型のオーミックコンタクト性などを考慮して、Cr/AuZn/Auの積層構造体としている。そして、Cr層は膜厚 5nm 程度、AuZn層は膜厚 10nm 程度の薄膜とし、Au層は膜厚 $1\mu\text{m}$ 程度の厚膜としている。

20

【0081】

(12) 全体をアセトンに浸漬し、フォトレジストを溶解する。このとき、フォトレジスト表面の金属（蒸着された金属）も同時に剥離する。ここでは、超音波振動などを加えても良いが、必要な部分での膜剥がれなどの不具合が発生するのを防止するために、できるだけ弱くするのが好ましい。なお、処理時間はフォトレジストが溶解していく様子を目視で観察しながら決定する。

【0082】

(13) 全体をエタノールやIPA（イソプロピルアルコール）などの洗浄液に浸漬する。これにより、p側の電極113、電極パッド、配線が形成される。なお、以下では、一例として図10に示されるように、p側の電極113によって囲まれた領域を「開口部」という。そして、該開口部におけるY軸方向の開口幅をa、X軸方向の開口幅をbとしたときの、 a/b を「開口部の矩形率」ともいう。

30

【0083】

本実施形態では、開口部の矩形率は、一例として図11（A）及び図11（B）に示されるように、ニア・フィールド・パターン（以下、便宜上「NFP」ともいう）の矩形率（ N_y/N_x ）と一致するように設定されている。本明細書では、NFPの矩形率は、中心の光強度を1としたときに $1/e^2$ 以上の光強度を有する領域の矩形率をいう。なお、このNFPの矩形率を求める方法については後述する。

40

【0084】

また、隣接する電極パッド間の間隙の最小値L（図12参照）は、開口部の最長幅R（図13参照）よりも大きくなるように設定されている。さらに、一例として図14に示されるように、p側の電極113と配線間の間隙の最小値L'も、開口部の最長幅Rよりも大きくなるように設定されている。そして、隣接する配線間の間隙の最小値も、開口部の最長幅Rよりも大きくなるように設定されている。

【0085】

(14) 基板101の裏側を所定の厚さ（例えば $100\mu\text{m}$ 程度）まで研磨した後、n側の電極114を形成する。ここでは、n側の電極114はAuGe/Ni/Auの積層構造体である。

50

【0086】

(15) アニールによって、p側の電極113とn側の電極114のオーミック導通をとる。これにより、各メサは発光部となる。

【0087】

(16) チップ毎に切断する。

【0088】

このようにして製造された複数の面発光レーザアレイ100では、上記「同時発光現象」はみられなかった。

【0089】

ここで、前述したNFPの矩形率を求める方法について説明する。

10

【0090】

(A) 先ず、面発光レーザアレイ100の発光部と同様な構成を有し、開口部のみを十分に大きくして、開口部が発光パターンに影響しないようにした計測用面発光レーザを別途作製する。ここでは、開口部の形状を一辺が $12\mu\text{m}$ の正形状とした。また、IR顕微鏡で観察し、電流通過領域の大きさがX軸方向に関して $4.0\mu\text{m}$ 、Y軸方向に関して $4.05\mu\text{m}$ となるように、選択酸化工程における熱処理の条件（保持温度、保持時間等）を設定した。

【0091】

(B) そして、倍率が100倍の対物レンズを、その焦点位置が計測用面発光レーザの開口部の底と一致するように配置する。

20

【0092】

(C) 計測用面発光レーザに駆動電流を供給するとともに、計測用面発光レーザの光出力が約 1.4mW となるように駆動電流を調整する。

【0093】

(D) 対物レンズを介した計測用面発光レーザからの光束をCCDカメラで受光する。なお、光強度を調整する目的で、対物レンズとCCDカメラとの間にフィルタを配置しても良い。

【0094】

(E) CCDカメラの出力画像を画像処理し、光強度が最大となる位置を通りX軸方向に平行な断面、及びY軸方向に平行な断面での光強度分布を、いわゆるガウシアン・フィッティングを用いて求める。

30

【0095】

(F) そして、各光強度分布に基づいて、X軸方向及びY軸方向に関して、中心の光強度を1としたときに $1/e^2$ 以上の光強度を有する領域の幅を求め、そのときの「Y軸方向の幅/X軸方向の幅」を、上記NFPの矩形率とする。本実施形態では、X軸方向の幅は $6.5\mu\text{m}$ 、Y軸方向の幅は $6.2\mu\text{m}$ であり、NFPの矩形率は約1.05であった。なお、計測用面発光レーザでは、電流通過領域の矩形率は約1.01であり、NFPの矩形率のほうがかなり大きかった。

【0096】

そこで、面発光レーザアレイ100では、開口部におけるY軸方向の開口幅aを $10.0\mu\text{m}$ 、X軸方向の開口幅bを $10.5\mu\text{m}$ とした。この場合、開口部における開口幅の最大値R（図13参照）は、 $14.5\mu\text{m}$ である。そして、隣接する電極パッド間の間隙の最小値Lは、 $14.6\mu\text{m}$ とした。

40

【0097】

ところで、前述したように、面発光レーザアレイにおける「同時発光現象」は、面発光レーザアレイに固有なものであり、製造プロセス中に除去された金属片が電氣的に絶縁されている領域に再付着して、該領域の絶縁性を毀損することによって発生する。特に、製造プロセスのリフトオフ工程で開口部を形成するために除去した複数の金属は、その厚さのために細かく粉碎されることなく、開口部と同じ形状の金属片として浸漬液中を浮遊する。そして、この金属片が、「同時発光現象」に関係していることを発明者らは見出した

50

(図 15 参照)。

【0098】

そこで、金属片の大きさを小さくするために、開口部の大きさを小さくすることが考えられる。しかしながら、開口部の大きさを小さくしすぎると、レーザ特性の一つであるファークフィールド・パターン（以下、便宜上「FFP」ともいう）の劣化を招く。具体的には、開口部の辺縁で出射光が回折し、所望の FFP よりも大きな FFP となる。また、一例として図 16 に示されるように、Z 軸方向から見たときに、電流通過領域 108b の中心と開口部の中心とがずれて、出射光が開口部の辺縁にかかる場合も、同様に所望の FFP よりも大きな FFP となる。従って、所望の FFP を実現するには、製造工程での前記ずれを考慮して、開口部の大きさがある程度大きくする必要がある。

10

【0099】

また、発明者らは、複数の面発光レーザについて、電流通過領域 108b の形状と NFP の形状との関係を調べた。その結果が図 17 に示されている。これによると、電流通過領域の矩形率（図 18 参照）の平均値は 1.02 であり、NFP の矩形率の平均値は 1.04 であった。すなわち、電流通過領域 108b の形状と NFP の形状とは相似形でないことが判明した。なお、電流通過領域の矩形率は、IR 顕微鏡で観察して計測した（図 19 参照）。

【0100】

従来のように、開口部の形状を電流通過領域の形状（正方形、図 20 (A) 参照）と相似形とした場合に、所望の大きさの FFP を得るためには、製造工程での前記ずれだけでなく、電流通過領域の矩形率と NFP の矩形率の違いも考慮して、開口部の大きさにおける公差を設定する必要がある。

20

【0101】

一方、本実施形態のように、開口部の矩形率を NFP の矩形率（図 20 (B) 及び図 20 (D) 参照）と同じとした場合には、製造工程での前記ずれのみを考慮して、開口部の大きさにおける公差を設定することができる。

【0102】

すなわち、本実施形態では、従来よりも開口部の大きさを小さくしても、所望の大きさの FFP を得ることができる。この結果、開口部における開口幅の最大値を、従来よりも小さくすることができる（図 20 (C) 及び図 20 (D) 参照）。

30

【0103】

従って、本実施形態では、「同時発光現象」の原因となる金属片の大きさを従来よりも小さくすることができる（図 21 参照）。それに伴い、隣接する電極パッド間の間隙、隣接する配線間の間隙を狭くすることが可能となる。すなわち、チップ面積を小さくすることができ、1 ロットあたりのチップ数を増加させることが可能となる。その結果、製品歩留まりを向上させるとともに、更なる生産コストの低減を図ることができる。

【0104】

以上説明したように、本実施形態に係る面発光レーザアレイ 100 によると、基板 101 と、該基板 101 上に積層され、複数の光出射部を有する多層の半導体層と、複数の光出射部に対応して設けられ、光の通路となる開口部を有する複数の p 側の電極 113 と、該複数の p 側の電極 113 に対応して設けられた複数の電極パッドと、前記複数の p 側の電極 113 のそれぞれを、対応する電極パッドに電氣的に接続する複数の配線とを備えている。

40

【0105】

そして、p 側の電極 113 の開口部における開口幅の最大値は、電氣的に絶縁されている領域の最小幅よりも小さくなるように設定されている。

【0106】

従って、リフトオフ工程で剥離した金属片が再付着しても「同時発光現象」の発生を抑制することができ、製品歩留まりを向上させることが可能となる。

【0107】

50

ところで、面発光レーザアレイ 100 では、各発光部を副走査対応方向に延びる仮想線上に正射影したときの発光部間隔が等間隔 c であるので、点灯のタイミングを調整することで感光体ドラム 1030 上では副走査方向に等間隔で発光部が並んでいる場合と同様な構成と捉えることができる。

【0108】

そして、上記間隔 c が $3\mu\text{m}$ であるため、光走査装置 1010 の光学系の倍率を約 1.8 倍とすれば、 4800dpi (ドット/インチ) の高密度書込みができる。

【0109】

このように、本実施形態に係る光走査装置 1010 によると、光源 14 が面発光レーザアレイ 100 を有しているため、感光体ドラム 1030 上を高密度で走査することが可能となる。

10

【0110】

もちろん、主走査対応方向の発光部数を増加したり、前記間隔 d を狭くして間隔 c を更に小さくするアレイ配置としたり、光学系の倍率を下げる等を行えばより高密度化でき、より高品質の印刷が可能となる。なお、主走査方向の書き込み間隔は、発光部の点灯タイミングで容易に制御できる。

【0111】

また、レーザプリンタ 1000 では、書きこみドット密度が上昇しても印刷速度を落とすことなく印刷することができる。また、同じ書きこみドット密度の場合には印刷速度を更に速くすることができる。

20

【0112】

また、各発光部からの光束の偏光状態が安定して揃っているため、レーザプリンタ 1000 では、高精細な画像を高速で形成することができる。

【0113】

このように、本実施形態に係るレーザプリンタ 1000 によると、光走査装置 1010 を備えているため、高精細な画像を高速で形成することが可能となる。

【0114】

なお、上記実施形態では、面発光レーザアレイ 100 が 32 個の発光部を有する場合について説明したが、これに限定されるものではない。

【0115】

また、上記実施形態では、被選択酸化層が $p\text{-AlAs}$ からなる場合について説明したが、これに限らず、例えば $p\text{-Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$ のように Ga が含まれていても良い。

30

【0116】

また、上記実施形態では、被選択酸化層 108 の挿入位置が、上部スペーサ層 106 から光学的に $5\lambda/4$ 離れた位置である場合について説明したが、これに限定されるものではない。例えば、被選択酸化層 108 の挿入位置が、上部スペーサ層 106 から光学的に $3\lambda/4$ 、あるいは $7\lambda/4$ 離れた位置であっても良い。

【0117】

また、上記実施形態では、レーザ発振方向に直交する断面でのメサ形状が正方形の場合について説明したが、これに限定されるものではなく、例えば円形、楕円形あるいは長方形など任意の形状とすることができる。

40

【0118】

そして、開口部の形状を、一例として図 22 に示されるように、楕円形状としても良い。この場合は、 Y 軸方向の長さ a' / X 軸方向の長さ b' を開口部の矩形率とし、該開口部の矩形率が NFP の矩形率と一致するように設定すると良い。このとき、一例として図 23 に示されるように、互いに隣接する電極パッド間の間隙 L は、開口部の外形における長軸の長さ (ここでは、 a') よりも大きくする。また、このとき、開口部の形状が NFP の形状と相似形となるように設定しても良い。

【0119】

50

また、上記実施形態において、NFPの矩形率が略1.0のときに、開口部の外形を正形状あるいは円形状としても良い。開口部が正方形の場合の開口幅の最大値は、該正方形の対角線の長さであり、開口部が円形の場合の開口幅の最大値は、該円の直径である。

【0120】

また、上記実施形態では、基板の主面の法線方向が、結晶方位 $[1\ 0\ 0]$ 方向に対して、結晶方位 $[1\ 1\ 1]$ 方向に向かって15度傾斜している場合について説明したが、これに限定されるものではない。基板の主面の法線方向が、結晶方位 $\langle 1\ 0\ 0 \rangle$ の方向に対して、結晶方位 $\langle 1\ 1\ 1 \rangle$ の方向に向かって傾斜していれば良い。

【0121】

また、上記実施形態では、発光部の発振波長が780nm帯の場合について説明したが、これに限定されるものではない。感光体の特性に応じて、発光部の発振波長を変更しても良い。

10

【0122】

また、面発光レーザアレイ100は、画像形成装置以外の用途に用いることができる。その場合には、発振波長は、その用途に応じて、650nm帯、850nm帯、980nm帯、1.3μm帯、1.5μm帯等の波長帯であっても良い。

【0123】

また、上記実施形態において、前記面発光レーザアレイ100に代えて、面発光レーザアレイ100と同様の発光部が1次元配列された面発光レーザアレイを用いても良い。

【0124】

また、上記実施形態では、画像形成装置としてレーザプリンタ1000の場合について説明したが、これに限定されるものではない。要するに、光走査装置1010を備えた画像形成装置であれば良い。

20

【0125】

例えば、レーザ光によって発色する媒体（例えば、用紙）に直接、レーザ光を照射する画像形成装置であっても良い。

【0126】

また、像担持体として銀塩フィルムを用いた画像形成装置であっても良い。この場合には、光走査により銀塩フィルム上に潜像が形成され、この潜像は通常の銀塩写真プロセスにおける現像処理と同等の処理で可視化することができる。そして、通常の銀塩写真プロセスにおける焼付け処理と同等の処理で印画紙に転写することができる。このような画像形成装置は光製版装置や、CTスキャン画像等を描画する光描画装置として実施できる。

30

【0127】

また、一例として図24に示されるように、複数の感光体ドラムを備えるカラープリンタ2000であっても良い。

【0128】

このカラープリンタ2000は、4色（ブラック、シアン、マゼンタ、イエロー）を重ね合わせてフルカラーの画像を形成するタンデム方式の多色カラープリンタであり、ブラック用の「感光体ドラムK1、帯電装置K2、現像装置K4、クリーニングユニットK5、及び転写装置K6」と、シアン用の「感光体ドラムC1、帯電装置C2、現像装置C4、クリーニングユニットC5、及び転写装置C6」と、マゼンタ用の「感光体ドラムM1、帯電装置M2、現像装置M4、クリーニングユニットM5、及び転写装置M6」と、イエロー用の「感光体ドラムY1、帯電装置Y2、現像装置Y4、クリーニングユニットY5、及び転写装置Y6」と、光走査装置2010と、転写ベルト2080と、定着ユニット2030などを備えている。

40

【0129】

各感光体ドラムは、図24中の矢印の方向に回転し、各感光体ドラムの周囲には、回転方向に沿って、それぞれ帯電装置、現像装置、転写装置、クリーニングユニットが配置されている。各帯電装置は、対応する感光体ドラムの表面を均一に帯電する。光走査装置2010は、帯電装置によって帯電された各感光体ドラム表面に光を照射し、各感光体ドラ

50

ムに潜像を形成する。そして、各現像装置は、対応する感光体ドラム表面にトナー像を形成する。さらに、各転写装置は、対応する感光体ドラム表面のトナー像を、転写ベルト 2080 上の記録紙に転写する。全てトナー像が転写された記録紙は、定着ユニット 2030 に送られ、画像が定着される。

【0130】

光走査装置 2010 は、前記光源 14 と同様な光源を、色毎に有している。そこで、上記光走査装置 1010 と同様の効果を得ることができる。また、カラープリンタ 2000 は、光走査装置 2010 を備えているため、上記レーザプリンタ 1000 と同様の効果を得ることができる。

【0131】

ところで、カラープリンタ 2000 では、各部品の製造誤差や位置誤差等によって色ずれが発生する場合がある。このような場合であっても、点灯させる発光部を変更することで色ずれを低減することができる。

【産業上の利用可能性】

【0132】

以上説明したように、本発明の面発光レーザアレイによれば、製品歩留まりを向上させるのに適している。また、本発明の光走査装置によれば、高コスト化を招くことなく、被走査面を高密度で走査するのに適している。また、本発明の画像形成装置によれば、高コスト化を招くことなく、高精細な画像を高速で形成するのに適している。

【図面の簡単な説明】

【0133】

【図 1】本発明の一実施形態に係るレーザプリンタの概略構成を説明するための図である。

【図 2】図 1 における光走査装置を示す概略図である。

【図 3】光走査装置の光源に含まれる面発光レーザアレイを説明するための図である。

【図 4】面発光レーザアレイにおける発光部の 2 次元配列を説明するための図である。

【図 5】図 4 の A-A 断面図である。

【図 6】図 5 の一部を拡大した図である。

【図 7】図 7 (A) 及び図 7 (B) は、それぞれ面発光レーザアレイの基板を説明するための図である。

【図 8】面発光レーザアレイの活性層近傍を拡大した図である。

【図 9】面発光レーザアレイの上部半導体 DBR の一部を拡大した図である。

【図 10】面発光レーザアレイの開口部を説明するための図である。

【図 11】図 11 (A) 及び図 11 (B) は、それぞれ NFP を説明するための図である。

【図 12】隣接する電極パッド間の間隙を説明するための図である。

【図 13】開口部における開口幅の最大値を説明するための図である。

【図 14】p 側の電極と配線との間隙を説明するための図である。

【図 15】面発光レーザアレイに固有の「同時発光現象」を説明するための図である。

【図 16】電流通過領域の中心と開口部の中心とのずれを説明するための図である。

【図 17】電流通過領域の形状と NFP の形状との関係を説明するための図である。

【図 18】電流通過領域の矩形率を説明するための図である。

【図 19】IR 顕微鏡によって観察される酸化層及び電流通過領域を説明するための図である。

【図 20】図 20 (A) は電流通過領域の形状を説明するための図であり、図 20 (B) は NFP の形状を説明するための図であり、図 20 (C) は従来の開口部の大きさを説明するための図であり、図 20 (D) は本実施形態における開口部の大きさを説明するための図である。

【図 21】本実施形態の効果を説明するための図である。

【図 22】面発光レーザアレイの開口部の変形例を説明するための図である。

【図 2 3】 図 2 2 の開口部に対応する電極パッド間の間隙を説明するための図である。

【図 2 4】 カラープリンタの概略構成を説明するための図である。

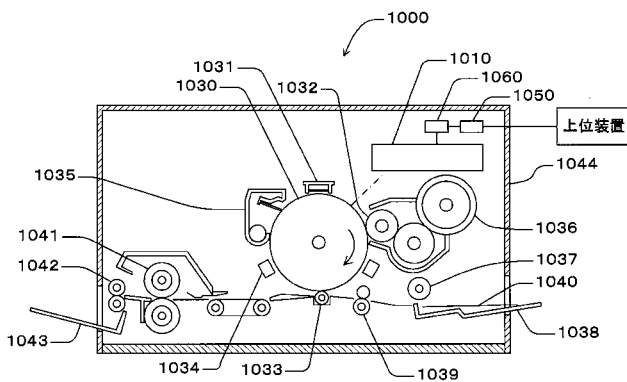
【符号の説明】

【 0 1 3 4 】

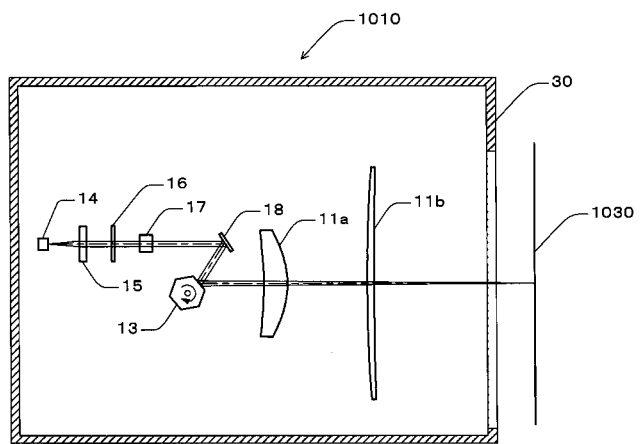
1 1 a … f θ レンズ（走査光学系の一部）、1 1 b … トロイダルレンズレンズ（走査光学系の一部）、1 3 … ポリゴンミラー（偏向器）、1 4 … 光源、1 0 0 … 面発光レーザーアレイ、1 0 1 … 基板、1 1 3 … p 側の電極（電極）、1 0 0 0 … レーザプリンタ（画像形成装置）、1 0 1 0 … 光走査装置、1 0 3 0 … 感光体ドラム（像担持体）、2 0 0 0 … カラープリンタ（画像形成装置）、2 0 1 0 … 光走査装置、K 1, C 1, M 1, Y 1 … 感光体ドラム（像担持体）。

10

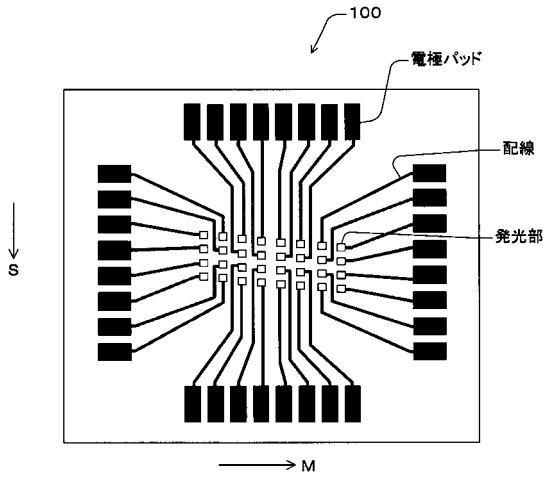
【 図 1 】



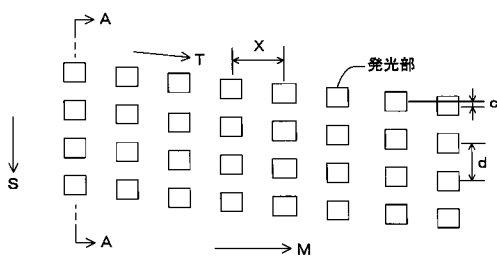
【 図 2 】



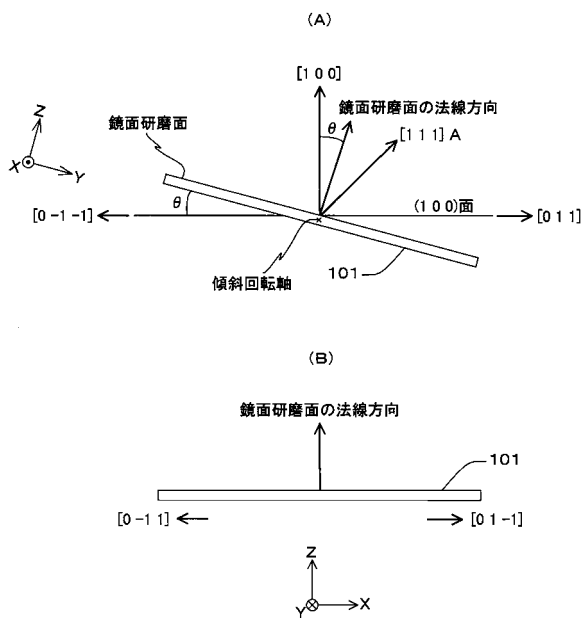
【図 3】



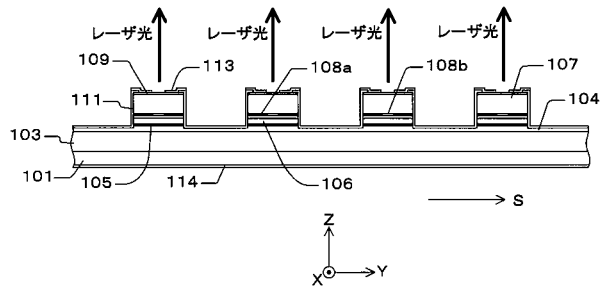
【図 4】



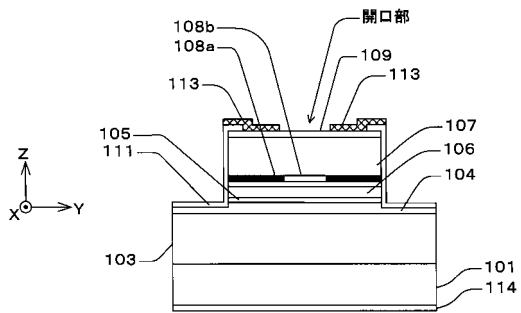
【図 7】



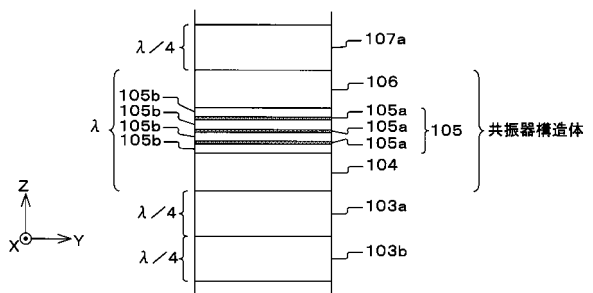
【図 5】



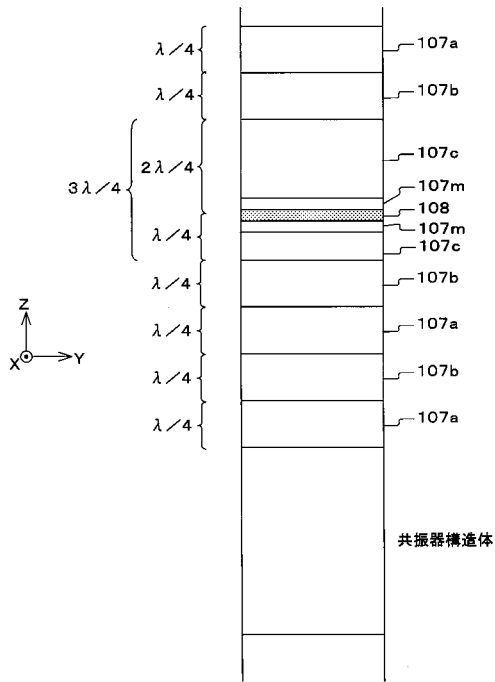
【図 6】



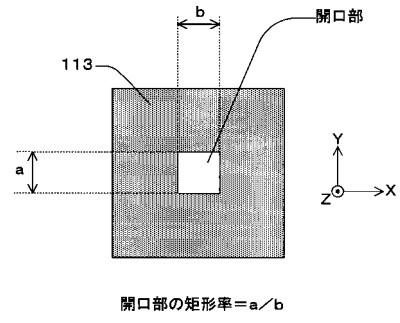
【図 8】



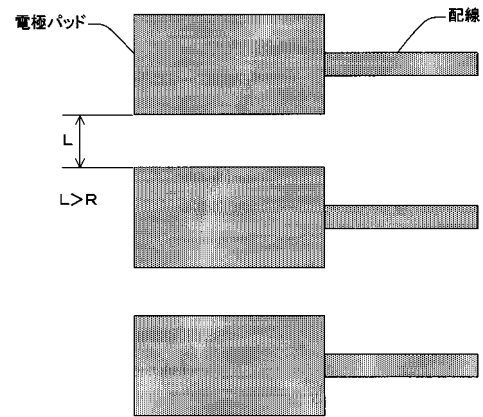
【図 9】



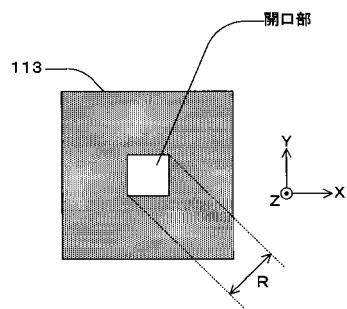
【図 10】



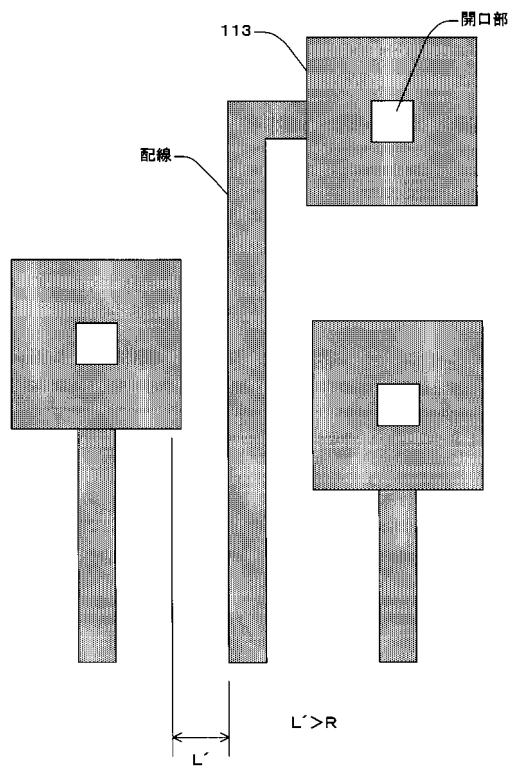
【図 12】



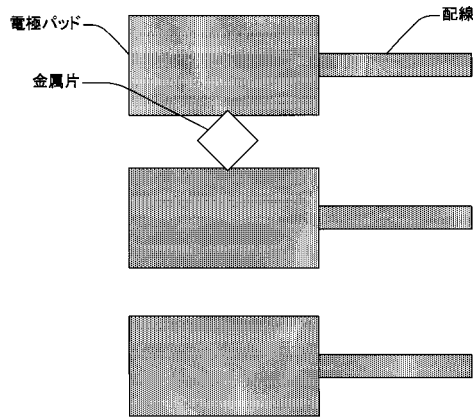
【図 13】



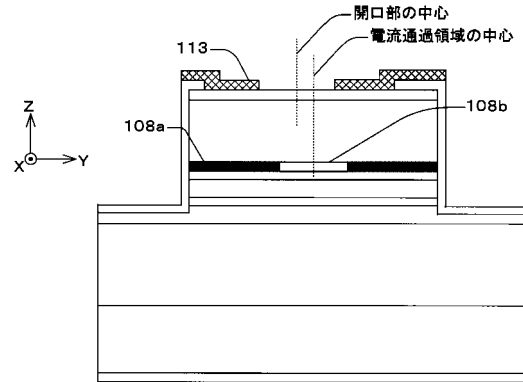
【図 14】



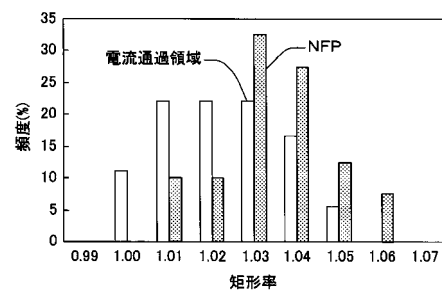
【図 15】



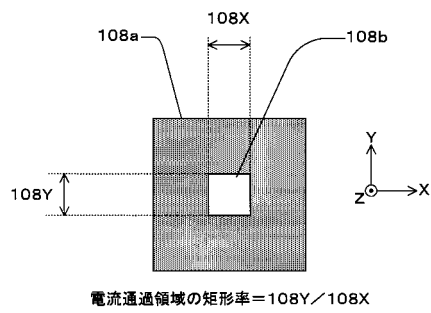
【図 16】



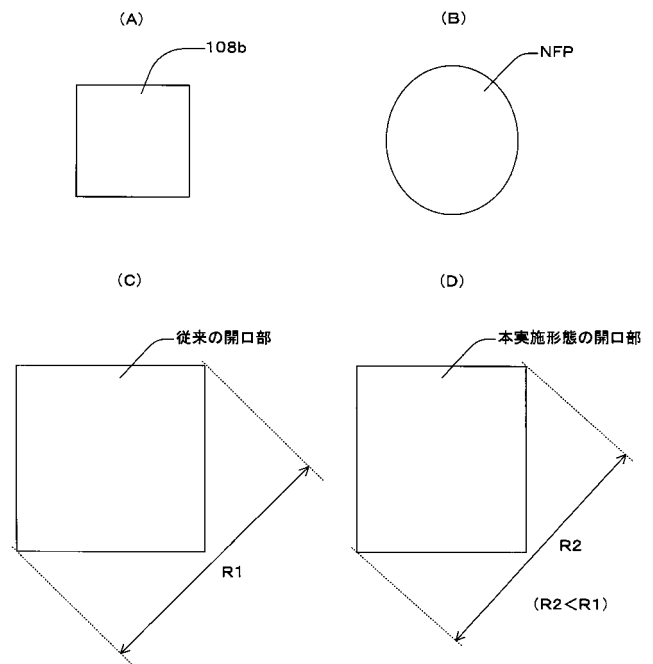
【図 17】



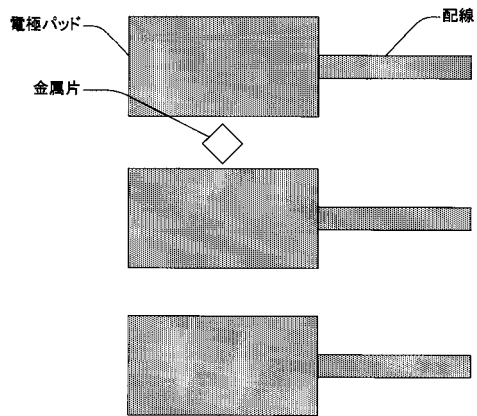
【図 18】



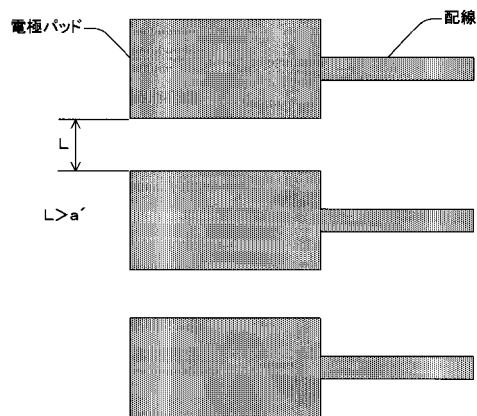
【図 20】



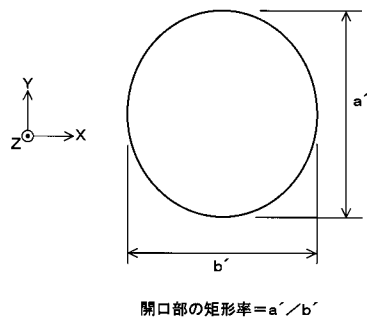
【図 2 1】



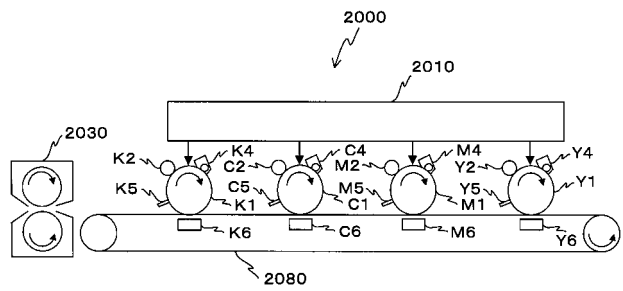
【図 2 3】



【図 2 2】

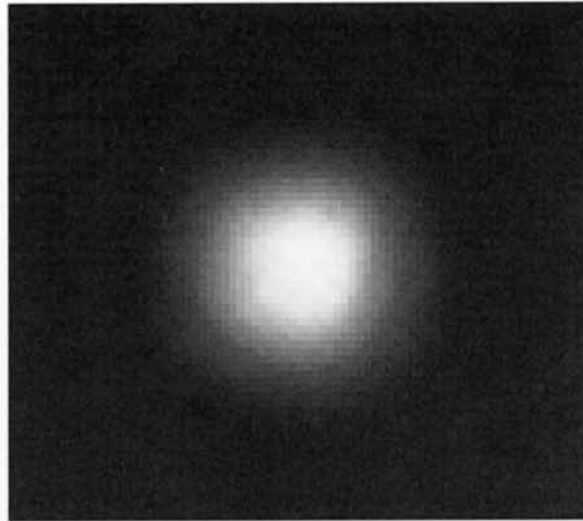
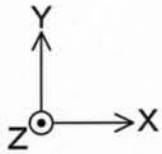


【図 2 4】

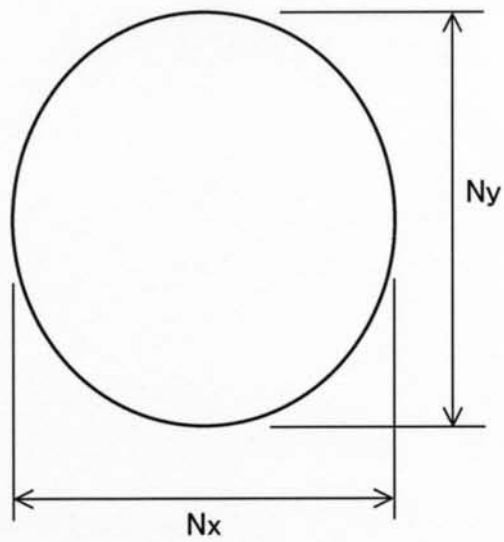
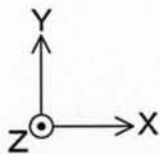


【図 1 1】

(A)



(B)



NFPの矩形率 = N_y / N_x

【図 19】

