

(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2018-97284  
(P2018-97284A)

(43) 公開日 平成30年6月21日(2018.6.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G03F 7/20 (2006.01)</b>	G03F 7/20 521	2H195
<b>G03F 1/50 (2012.01)</b>	G03F 7/20 501	2H197
<b>G03F 1/22 (2012.01)</b>	G03F 1/50	
	G03F 1/22	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2016-244003 (P2016-244003)	(71) 出願人	504238806 国立大学法人北見工業大学 北海道北見市公園町165番地
(22) 出願日	平成28年12月16日(2016.12.16)	(74) 代理人	100095407 弁理士 木村 満
		(74) 代理人	100165515 弁理士 太田 清子
		(74) 代理人	100109449 弁理士 毛受 隆典
		(72) 発明者	杉坂 純一郎 北海道北見市公園町165番地 国立大学 法人北見工業大学内
		(72) 発明者	安井 崇 北海道北見市公園町165番地 国立大学 法人北見工業大学内

最終頁に続く

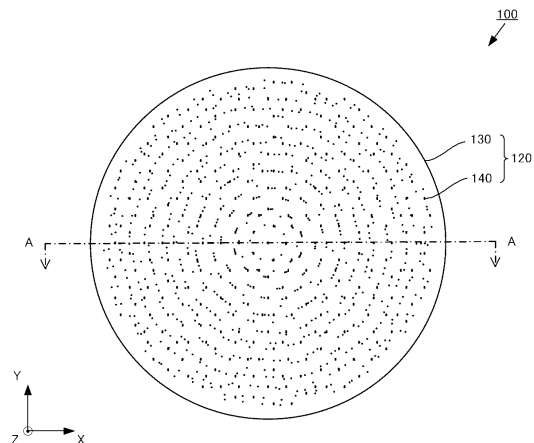
(54) 【発明の名称】 微細光学像生成素子及び微細光学像生成装置

(57) 【要約】

【課題】 所望の微細光学像を容易に生成できる微細光学像生成素子及び微細光学像生成装置を提供する。

【解決手段】 微細光学像生成素子100は、準結晶パターンを同一平面上で少なくとも二つ以上組み合わせた配置パターンに基づいて複数の開口部140が配置された微細構造部120を備える。微細構造部120は、レーザ光を遮断する遮光膜130と、遮光膜130に設けられ、レーザ光が通過可能な複数の開口部140と、を備える。準結晶パターンは、例えば、準結晶の格子構造の一つであるペンローズタイルの格子点からなるパターンである。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

準結晶パターンを同一平面上で少なくとも二つ以上組み合わせた配置パターンに基づいて複数の凹部、凸部、又は開口部が配置された微細構造部を備える微細光学像生成素子。

## 【請求項 2】

前記微細構造部は、電磁波を遮断する膜と、当該膜に設けられ、電磁波が通過可能な複数の開口部と、を備える、

請求項 1 に記載の微細光学像生成素子。

## 【請求項 3】

前記膜を支持しており、電磁波を透過可能な基板を備える、

請求項 2 に記載の微細光学像生成素子。

10

## 【請求項 4】

前記微細構造部は、基板の表面に当該基板と一体に形成された複数の凹部又は凸部である、

請求項 1 に記載の微細光学像生成素子。

## 【請求項 5】

前記微細構造部を支持しており、電磁波を透過可能な基板を備え、

前記微細構造部は、前記基板の表面に設けられ、電磁波を遮断する複数の凸部である、

請求項 1 に記載の微細光学像生成素子。

## 【請求項 6】

前記準結晶パターンは、ペンローズスタイルの格子点からなるパターンである、

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の微細光学像生成素子。

20

## 【請求項 7】

それぞれの前記準結晶パターンは、前記準結晶パターンの中心点の位置、前記準結晶パターンの中心点を通って前記準結晶パターンに垂直な軸周りの回転角、又は前記準結晶パターンの格子定数の少なくとも 1 つが異なっている、

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の微細光学像生成素子。

## 【請求項 8】

前記準結晶パターンは、前記準結晶パターンの元となる準結晶の格子構造の格子点に部分的に設けられている、

請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の微細光学像生成素子。

30

## 【請求項 9】

前記準結晶パターンは、互いの中心点が一致するようにフレネルゾーンプレートが重ねられたとき、前記フレネルゾーンプレートの暗輪帯に重なる格子点を除去したパターンである、

請求項 8 に記載の微細光学像生成素子。

## 【請求項 10】

電磁波を照射する電磁波照射手段と、

前記電磁波照射手段からの電磁波を透過又は反射することにより微細光学像を生成する請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の微細光学像生成素子と、

を備える微細光学像生成装置。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、微細光学像生成素子及び微細光学像生成装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

半導体の微細回路を製造するための加工技術としてフォトリソグラフィが知られている。フォトリソグラフィは、フォトマスクに形成した回路パターンを、感光材料（フォトレジスト）を塗布した基板上に投影することにより、基板上に回路パターンを転写する技術

50

である。例えば、特許文献 1 には、マスクに形成された回路パターンの像を基板上に投影する投影光学系を備える投影露光装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2001-51193 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 の投影露光装置は、収差による像の歪みを低減するために、複数のレンズを組み合わせた投影光学系を用いている。このため、投影光学系の設計が煩雑であると共に、製造コストが大きいという問題があった。

10

【0005】

また、特許文献 1 の投影露光装置においては、光の回折限界付近まで回路パターンを縮小投影した場合、フォトマスクの回路パターンと基板上に投影された回路パターン像との間にずれが生じる。このため、当該ずれを補正するようにフォトマスクを設計する必要がある。その結果、フォトマスクの設計が煩雑であるという問題がある。そして、これらの問題は、フォトリソグラフィを用いて半導体の微細回路を製造する場合のみならず、微細光学像の生成が要求される様々な技術分野に存在している。

【0006】

20

本発明は、このような背景に基づいてなされたものであり、所望の微細光学像を容易に生成できる微細光学像生成素子及び微細光学像生成装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するために、本発明の第 1 の観点に係る微細光学像生成素子は、準結晶パターンを同一平面上で少なくとも二つ以上組み合わせた配置パターンに基づいて複数の凹部、凸部、又は開口部が配置された微細構造部を備える。

【0008】

前記微細構造部は、電磁波を遮断する膜と、当該膜に設けられ、電磁波が通過可能な複数の開口部と、を備えていてもよい。

30

【0009】

前記膜を支持しており、電磁波を透過可能な基板を備えていてもよい。

【0010】

前記微細構造部は、基板の表面に当該基板と一体に形成された複数の凹部又は凸部であってもよい。

【0011】

前記微細構造部を支持しており、電磁波を透過可能な基板を備え、

前記微細構造部は、前記基板の表面に設けられ、電磁波を遮断する複数の凸部であってもよい。

【0012】

40

前記準結晶パターンは、ペンローズスタイルの格子点からなるパターンであってもよい。

【0013】

それぞれの前記準結晶パターンは、前記準結晶パターンの中心点の位置、前記準結晶パターンの中心点を通って前記準結晶パターンに垂直な軸周りの回転角、又は前記準結晶パターンの格子定数の少なくとも一つが異なってもよい。

【0014】

前記準結晶パターンは、前記準結晶パターンの元となる準結晶の格子構造の格子点に部分的に設けられていてもよい。

【0015】

前記準結晶パターンは、互いの中心点が一致するようにフレネルゾーンプレートが重ね

50

られたとき、前記フレネルゾーンプレートの暗輪帯に重なる格子点を除去したパターンであってもよい。

【0016】

上記目的を達成するために、本発明の第2の観点に係る微細光学像生成装置は、電磁波を照射する電磁波照射手段と、前記電磁波照射手段からの電磁波を透過又は反射することにより微細光学像を生成する前記微細光学像生成素子と、を備える。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、準結晶パターンを同一平面上で少なくとも二つ以上組み合わせた配置パターンに基づいて複数の凹部、凸部、又は開口部が配置された微細構造部を備えている。このため、所望の微細光学像を容易に生成できる微細光学像生成素子及び微細光学像生成装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の実施の形態1に係る微細光学像生成素子を示す平面図である。

【図2】図1の微細光学像生成素子を線A-Aで矢視した断面図である。

【図3】本発明の実施の形態1に係る微細光学像生成素子が光学像を生成する様子を示す図である。

【図4】(a)はペンローズタイルの一部、(b)は2種類の菱形で構成される準結晶格子構造の一部、(c)は六角形、八角形、及び十角形で構成される準結晶格子構造の一部を示す図である。

【図5】(a)はペンローズタイルに基づく準結晶パターン、(b)は(a)の準結晶パターンを2つ重ね合わせた配置パターンを示す図である。

【図6】(a)は点Aにスポット像を生成する準結晶レンズ、(b)は点Bにスポット像を生成する準結晶レンズ、(c)は(a)の準結晶レンズと(b)の準結晶レンズとを組み合わせた微細光学像生成素子を示す図である。

【図7】(a)は直線の光学像、(b)は(a)の光学像を生成するスポット像の配列、(c)は曲線の光学像、(d)は(c)の光学像を生成するスポット像の配列を示す図である。

【図8】隣接する開口部の重なり合いを説明する図である。

【図9】(a)は焦点位置のレーザ光の位相を0にするフレネルゾーンプレート、(b)は焦点位置のレーザ光の位相を にするフレネルゾーンプレートを示す図である。

【図10】格子定数とスポット距離との関係を示すグラフである。

【図11】本発明の実施の形態1に係る微細光学像生成素子が異なるスポット距離で規定される位置にスポット像を生成する様子を示す図である。

【図12】本発明の実施の形態1に係る配置パターン生成処理を示すフローチャートである。

【図13】本発明の実施の形態1に係る準結晶パターン配置処理を示すフローチャートである。

【図14】本発明の実施の形態1に係るコントラスト向上処理を示すフローチャートである。

【図15】本発明の実施の形態1に係る微細光学像生成素子の製造方法を示す図であって、(a)は遮光膜を形成した様子、(b)はレジストを塗布した様子、(c)は開口部を形成した様子、(d)はエッチングを施した様子、(e)はレジストを除去した様子を示す図である。

【図16】(a)は実施例1におけるスポット像、(b)は実施例2におけるスポット像、(c)は実施例3におけるスポット像、(d)は実施例4におけるスポット像、(e)は実施例5における微細光学像生成素子からZ軸方向に192.36 $\mu$ mの位置のスポッ

10

20

30

40

50

ト像、(f)は実施例5における微細光学像生成素子からZ軸方向に192.73 $\mu$ mの位置のスポット像を示す図である。

【図17】本発明の実施の形態2に係る微細光学像生成素子を図2と同様に線A-Aで矢視した断面図である。

【図18】本発明の実施の形態3に係る微細光学像生成素子を図2と同様に線A-Aで矢視した断面図である。

【図19】本発明の実施の形態4に係る微細光学像生成素子を図2と同様に線A-Aで矢視した断面図である。

【図20】本発明の実施の形態5に係る微細光学像生成素子を図2と同様に線A-Aで矢視した断面図である。

【図21】本発明の実施の形態6に係る微細光学像生成素子を図2と同様に線A-Aで矢視した断面図である。

【図22】本発明の実施の形態6に係る微細光学像生成素子が光学像を生成する様子を示す図である。

【図23】本発明の実施の形態7に係る微細光学像生成素子を図2と同様に線A-Aで矢視した断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明に係る微細光学像生成素子及び微細光学像生成装置の実施の形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。各図面においては、同一または同等の部分に同一の符号を付す。また、各実施の形態においては、微細光学像生成素子の平面上に延びる方向をX軸、微細光学像生成素子の平面上にあってX軸に垂直な方向をY軸、微細光学像生成素子の平面に垂直な方向、すなわちX軸及びY軸に垂直な方向をZ軸とする直交座標系を使用する。

【0020】

微細光学像生成素子は、外部から照射された電磁波を透過又は反射することにより電磁波を集光して外部に微細光学像を生成する素子である。微細光学像生成素子に照射される電磁波は、マイクロ波、テラヘルツ波、赤外線、可視光線、紫外線、X線等である。以下、理解を容易にするために、微細光学像生成素子に可視光領域のレーザ光を照射する場合を例にして説明する。

【0021】

(実施の形態1)

図1~16を参照して、本発明の実施の形態1に係る微細光学像生成素子100及び微細光学像生成装置1について説明する。

【0022】

図1は、微細光学像生成素子100の一例を示す図である。微細光学像生成素子100は、全体として円盤形状であり、表面の遮光膜130には、図1の黒い点で示す複数の開口部140が形成されている。

【0023】

図2は、図1に示す微細光学像生成素子100の断面を示した概略図である。図2においては、理解を容易にするために、開口部140の数とスケールを簡略化して図示している。図2に示すように、微細光学像生成素子100は、平板状の基板110と、基板110の表面に設けられた微細構造部120と、を備える。

【0024】

基板110は、薄膜状の微細構造部120の形状を保持する部材である。基板110は、ガラス等のレーザ光を透過可能な材料から形成されている。基板110の厚さは、基板110の剛性、基板110を透過する際のレーザ光の損失等を考慮して、約0.5mm~約1.0mmであることが好ましい。

【0025】

微細構造部120は、照射されたレーザ光を集光して微細光学像を生成するための微細

10

20

30

40

50

な構造を有する部材である。微細構造部 120 は、レーザ光を遮る遮光膜 130 と、遮光膜 130 に設けられ、レーザ光が通過可能な複数の開口部 140 と、を備える。遮光膜 130 は、タンゲステンシリサイド等のレーザ光を透過しない金属材料から形成されている。遮光膜 130 の厚さは、遮光膜 130 の製造コスト、開口部 140 の加工容易性等を考慮して、約 80 nm ~ 約 200 nm であることが好ましい。

【0026】

複数の開口部 140 は、微細構造部 120 が XY 平面上に配置されているとき、Z 軸方向に貫通するように形成されている。複数の開口部 140 は、いずれも同一の半径  $R_1$  を有する円形孔である。

【0027】

図 3 は、微細光学像生成装置 1 の全体的な構成を示す図である。微細光学像生成装置 1 は、微細光学像生成素子 100 と、微細光学像生成素子 100 にレーザ光を照射する電磁波照射手段であるレーザ光源 10 と、を備えている。図 3 に示すように、微細構造部 120 は、所定のパターンで形成された複数の開口部 140 におけるレーザ光の回折・干渉作用を利用して、レーザ光源 10 から照射されて Z 軸方向に入射したレーザ光を集光し、外部に微細光学像を生成する。

【0028】

次に、微細構造部 120 に複数の開口部 140 を配置するための配置パターンについて説明する。

【0029】

配置パターンは、微細構造部 120 において複数の開口部 140 を配置する位置を示すパターンであって、準結晶パターンを少なくとも二つ以上組み合わせて構成されている。配置パターンは、複数の点（ドット）から構成されており、配置パターンを構成する点の位置は、遮光膜 130 における開口部 140 の位置に対応する。図 1 の微細光学像生成素子 100 は、複数の開口部 140 を配置パターンに基づいて配置した一つの例である。

【0030】

準結晶パターンは、準結晶の格子構造をその結晶構造の対称軸に平行でない二次元空間に射影したとき、当該格子構造の格子点すなわち当該格子構造を構成する菱形の頂点から構成されるパターンである。準結晶は、結晶のような並進対称性は持たないが、アモルファスとは異なり原子配列に高い秩序性を有しており、結晶及びアモルファスとは異なる特有の格子構造を備えている。例えば、準結晶の格子構造としては、図 4 (a) に示すペンローズタイル、図 4 (b) に示す 2 種類の菱形で構成される格子構造、図 4 (c) に示す六角形、八角形、及び十角形で構成される格子構造等が知られている。

【0031】

以下、図 4 (a) ~ (c) に示す準結晶パターンを生成する具体的な方法について説明する。まず、5 次元の超空間を 2 次元空間（物理空間）と 3 次元空間（直交補空間）に分解する。5 次元空間内で、互いに直交する長さ 1 の基底ベクトル  $e_1 \sim e_5$  は以下の式で表される。ただし、 $t$  は転置を表す。

【0032】

10

20

30

【数 1】

$$e_1^t = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$e_2^t = [0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$e_3^t = [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0]$$

$$e_4^t = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0]$$

$$e_5^t = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1]$$

10

20

【 0 0 3 3 】

次に、5次元空間で周期的な単純格子を考え、その格子点を2次元と3次元の空間に射影する。すなわち、5次元の基底ベクトル  $e_1 \sim e_5$  を2次元の物理空間と3次元の直交補空間に射影する。このとき、2次元の物理空間に射影した基底ベクトル  $L_1 \sim L_5$  は以下の式で表される。

30

【 0 0 3 4 】

【数 2】

$$L_1^t = \sqrt{2/5} [1 \quad 0]$$

$$L_2^t = \sqrt{2/5} \left[ \cos\left(\frac{2\pi}{5}\right) \quad \sin\left(\frac{2\pi}{5}\right) \right]$$

10

$$L_3^t = \sqrt{2/5} \left[ \cos\left(\frac{4\pi}{5}\right) \quad \sin\left(\frac{4\pi}{5}\right) \right]$$

$$L_4^t = \sqrt{2/5} \left[ \cos\left(\frac{6\pi}{5}\right) \quad \sin\left(\frac{6\pi}{5}\right) \right]$$

20

$$L_5^t = \sqrt{2/5} \left[ \cos\left(\frac{8\pi}{5}\right) \quad \sin\left(\frac{8\pi}{5}\right) \right]$$

【0035】

30

また、2次元の物理空間に射影した基底ベクトル  $L_1 \sim L_5$  及び3次元の直交補空間に射影した基底ベクトル  $P_1 \sim P_5$  は以下の式で表される。

【0036】



【数 3】

$$P_1^t = \sqrt{2/5} [1 \quad 0 \quad \sqrt{1/2}]$$

$$P_2^t = \sqrt{2/5} \left[ \cos\left(\frac{4\pi}{5}\right) \quad \sin\left(\frac{4\pi}{5}\right) \quad \sqrt{1/2} \right]$$

10

$$P_3^t = \sqrt{2/5} \left[ \cos\left(\frac{8\pi}{5}\right) \quad \sin\left(\frac{8\pi}{5}\right) \quad \sqrt{1/2} \right]$$

$$P_4^t = \sqrt{2/5} \left[ \cos\left(\frac{2\pi}{5}\right) \quad \sin\left(\frac{2\pi}{5}\right) \quad \sqrt{1/2} \right]$$

20

$$P_5^t = \sqrt{2/5} \left[ \cos\left(\frac{6\pi}{5}\right) \quad \sin\left(\frac{6\pi}{5}\right) \quad \sqrt{1/2} \right]$$

【0037】

5次元超格子の格子点  $p$  は以下の式で表される。

$$p = n_1 e_1 + n_2 e_2 + n_3 e_3 + n_4 e_4 + n_5 e_5$$

30

ただし、 $n_1 \sim n_5$  は、例えば、 $-23 \sim 23$  の範囲の整数とする。このとき、格子点  $p$  の数は全部で  $(2 \times 23 + 1)^5 = 229,345,007$  個である。 $n_1 \sim n_5$  の最大値が大きいほど準結晶の格子点の数も増え、パターン全体のサイズも大きくなる。

【0038】

物理空間に射影された格子点  $r$  は、2次元の物理空間に射影した基底ベクトル  $L_1 \sim L_5$  を用いて以下の式で表される。

$$r = n_1 L_1 + n_2 L_2 + n_3 L_3 + n_4 L_4 + n_5 L_5$$

また、直交補空間に射影された格子点  $p$  は、3次元の直交補空間に射影した基底ベクトル  $P_1 \sim P_5$  を用いて以下の式で表される。

40

$$p = n_1 P_1 + n_2 P_2 + n_3 P_3 + n_4 P_4 + n_5 P_5$$

【0039】

ここまで各準結晶パターンを生成する手順は共通しているが、以下に示す手順は準結晶パターンごとに異なる。例えば、図4(a)に示すペンローズタイルを生成するには、 $p$  の  $z$  座標に応じて  $p$  の  $x$ 、 $y$  座標が以下の条件を満たすものを選択する。

【0040】

$p$  の  $z$  座標が  $-2/5$  のとき、 $p$  の  $x$ 、 $y$  座標が  $x = 0$ 、 $y = 0$  のものを選択する。

$p$  の  $z$  座標が  $-1/5$  のとき、 $p$  の  $x$ 、 $y$  座標が  $P_1$ 、 $P_4$ 、 $P_2$ 、 $P_5$ 、 $P_3$  の作る正五角形の範囲に入っているものを選択する。

50

$p$  の  $z$  座標が 0 のとき、 $p$  の  $x$ 、 $y$  座標が  $P_1 + P_4$ 、 $P_4 + P_2$ 、 $P_2 + P_5$ 、 $P_5 + P_3$ 、 $P_3 + P_1$  の作る正五角形の範囲に入っているものを選択する。

$p$  の  $z$  座標が  $1/5$  のとき、 $p$  の  $x$ 、 $y$  座標が  $P_1 + P_3 + P_4$ 、 $P_4 + P_2 + P_1$ 、 $P_2 + P_5 + P_4$ 、 $P_5 + P_3 + P_2$ 、 $P_3 + P_1 + P_5$  の作る正五角形の範囲に入っているものを選択する。

$p$  の  $z$  座標が  $2/5$  のとき、 $p$  の  $x$ 、 $y$  座標が  $P_1 + P_4 + P_3 + P_2$ 、 $P_4 + P_2 + P_1 + P_5$ 、 $P_2 + P_5 + P_4 + P_3$ 、 $P_5 + P_3 + P_2 + P_1$ 、 $P_3 + P_1 + P_5 + P_4$  の作る正五角形の範囲に入っているものを選択する。

【0041】

図4(b)に示す2種類の菱形で構成される格子構造を生成するには、 $p$  の  $z$  座標に応じて  $p$  の  $x$ 、 $y$  座標を以下のように設定する。

【0042】

$p$  の  $z$  座標が  $-2/5$  のとき、 $p$  の  $x$ 、 $y$  座標が  $P_1/2$ 、 $P_4/2$ 、 $P_2/2$ 、 $P_5/2$ 、 $P_3/2$  の作る正五角形の範囲に入っているものを選択する。

$p$  の  $z$  座標が  $-1/5$  のとき、 $p$  の  $x$ 、 $y$  座標が  $P_1 + P_4/2$ 、 $P_4 + P_1/2$ 、 $P_4 + P_2/2$ 、 $P_2 + P_4/2$ 、 $P_2 + P_5/2$ 、 $P_5 + P_2/2$ 、 $P_5 + P_3/2$ 、 $P_3 + P_5/2$ 、 $P_3 + P_1/2$ 、 $P_1 + P_3/2$  の作る正十角形の範囲に入っているものを選択する。

$p$  の  $z$  座標が 0 のとき、 $p$  の  $x$ 、 $y$  座標が  $P_1 + P_4 + P_3/2$ 、 $P_4 + P_1 + P_2/2$ 、 $P_4 + P_2 + P_1/2$ 、 $P_2 + P_4 + P_5/2$ 、 $P_2 + P_5 + P_4/2$ 、 $P_5 + P_2 + P_3/2$ 、 $P_5 + P_3 + P_2/2$ 、 $P_3 + P_5 + P_1/2$ 、 $P_3 + P_1 + P_5/2$ 、 $P_1 + P_3 + P_4/2$  の作る正十角形の範囲に入っているものを選択する。

$p$  の  $z$  座標が  $1/5$  のとき、 $p$  の  $x$ 、 $y$  座標が  $P_1 + P_4 + P_3 + P_2/2$ 、 $P_4 + P_1 + P_2 + P_3/2$ 、 $P_4 + P_2 + P_1 + P_5/2$ 、 $P_2 + P_4 + P_5 + P_1/2$ 、 $P_2 + P_5 + P_4 + P_3/2$ 、 $P_5 + P_2 + P_3 + P_4/2$ 、 $P_5 + P_3 + P_2 + P_1/2$ 、 $P_3 + P_5 + P_1 + P_2/2$ 、 $P_3 + P_1 + P_5 + P_4/2$ 、 $P_1 + P_3 + P_4 + P_5/2$  の作る正十角形の範囲に入っているものを選択する。

$p$  の  $z$  座標が  $2/5$  のとき、 $p$  の  $x$ 、 $y$  座標が  $P_1 + P_4 + P_3 + P_2 + P_5/2$ 、 $P_4 + P_2 + P_1 + P_5 + P_3/2$ 、 $P_2 + P_5 + P_4 + P_3 + P_1/2$ 、 $P_5 + P_3 + P_2 + P_1 + P_4/2$ 、 $P_3 + P_1 + P_5 + P_4 + P_2/2$  の作る正五角形の範囲に入っているものを選択する。

【0043】

図4(c)に示す六角形、八角形、及び十角形で構成される格子構造を生成するには、 $p$  の  $z$  座標に応じて  $p$  の  $x$ 、 $y$  座標を以下のように設定する。

【0044】

$p$  の  $z$  座標が  $-2/5$  のとき、選択しない。

$p$  の  $z$  座標が  $-1/5$  のとき、選択しない。

$p$  の  $z$  座標が 0 のとき、 $p$  の  $x$ 、 $y$  座標が  $P_1 + P_4$ 、 $P_4 + P_2$ 、 $P_2 + P_5$ 、 $P_5 + P_3$ 、 $P_3 + P_1$  が作る正五角形の範囲に入っているものを選択する。

$p$  の  $z$  座標が  $1/5$  のとき、 $p$  の  $x$ 、 $y$  座標が  $P_1 + P_4 + P_3$ 、 $P_4 + P_2 + P_1$ 、 $P_2 + P_5 + P_4$ 、 $P_5 + P_3 + P_2$ 、 $P_3 + P_1 + P_5$  が作る正五角形の範囲に入っているものを選択する。

$p$  の  $z$  座標が  $2/5$  のとき、選択しない。

【0045】

3次元直交補空間上で選択された格子点  $p$  に対応する  $r$  の集合体が2次元物理空間における準結晶パターンを構成する。準結晶パターンは回転対称性を有しており、回転対称性の回転中心が準結晶パターンの中心点である。

【0046】

準結晶の結晶構造に基づいて生成された準結晶パターンと、少なくとも2つ以上の準結晶パターンを組み合わせ生成された配置パターンの具体的な例を示す。図5(a)は、

10

20

30

40

50

図4(a)のペンローズタイルに基づいて生成された準結晶パターンを示す。準結晶パターンは、規則的に配置された複数の格子点から構成される。準結晶パターン全体の半径 $R_2$ は、中心点から最も遠いところにある格子点までの距離である。図5(a)の準結晶パターンを同一平面上に少しずつ2つ重ね合わせると、図5(b)に示す2つの準結晶パターンからなる配置パターンを得ることができる。さらに、図5(a)の準結晶パターンを同一平面上で少しずつ重ね合わせていくことにより、図1に示すようなパターンで開口部140を配置する配置パターンが得られる。

#### 【0047】

次に、図6を参照して、微細光学像生成素子100が所望の微細光学像を生成する原理について説明する。理解を容易にするために、2つの同一の準結晶パターンを図5(b)に示すように同一平面上で重ね合わせるにより配置パターンを生成する場合を例にして説明する。

10

#### 【0048】

図6(a)は、1つの準結晶パターンで複数の開口部140Aが配置されている準結晶レンズ100Aを示す。準結晶レンズ100Aは、1つの準結晶パターンで複数の開口部140Aが配置されていることを除いて微細光学像生成素子100と同一の構成を備える。準結晶レンズ100Aは、複数の開口部140Aを通過したレーザ光が回折・干渉して1つの点A( $x_A, y_A$ )に集光することにより、点Aに1つのスポット像を生成する。

#### 【0049】

準結晶レンズ100Aの生成するスポット像は、準結晶レンズ100Aの準結晶パターンの中心点から、準結晶レンズ100Aの平面に対して垂直方向に伸びている延長線 $L_A$ 上に現れる。準結晶レンズ100Aは、従来のフォトリソグラフィとは異なり、フォトマスクの回路パターンを縮小するレンズ系が不要であるため、光の回折限界を超えたサイズへの集光を実現できる。また、表面に異物が存在していたとしても、スポット像の生成に影響をほとんど及ぼさない。

20

#### 【0050】

図6(b)は、準結晶レンズ100Aと同一の1つの準結晶パターンで複数の開口部140Bが配置されている準結晶レンズ100Bを示す。準結晶レンズ100Bは、点Aと同一のXY平面上であって点Aと異なる位置にある点B( $x_B, y_B$ )に1つのスポット像を生成する。準結晶レンズ100Bの生成するスポット像は、準結晶レンズ100Bの準結晶パターンの中心点から、準結晶レンズ100Bの平面に対して垂直方向に伸びた延長線 $L_B$ 上に現れる。

30

#### 【0051】

図6(c)は、準結晶レンズ100Aと準結晶レンズ100Bを一体に構成した微細光学像生成素子100を示す。微細光学像生成素子100は、図6(a)の準結晶パターンで配置された複数の開口部140Aと、図6(b)の準結晶パターンで配置された複数の開口部140Bとを同一の遮光膜130に配置して構成されている。それぞれの開口部140A、140Bが互いに重なり合わない限り、複数の開口部140Aと複数の開口部140Bとは、互いに影響を及ぼすことなく同一のXY平面上にある点A、Bに2つのスポット像を生成する。

40

#### 【0052】

微細光学像生成素子100は、この性質を利用して、複数の準結晶パターンを組み合わせた配置パターンに基づいて同一の遮光膜130に複数の開口部140を配置することにより、複数のスポット像を重ね合わせて所望の微細光学像を生成する。例えば、図7(a)に示す直線の光学像を生成する場合、図7(b)に示すように複数のスポット像が直線上に並ぶように、複数の準結晶パターンを組み合わせて配置パターンを生成する。また、図7(c)に示す曲線の光学像を生成する場合、図7(d)に示すようにスポット像が曲線上に並ぶように、複数の準結晶パターンを組み合わせて配置パターンを生成する。

#### 【0053】

微細光学像を構成するスポット像の明るさは、準結晶パターンの大きさ、すなわち準結

50

晶パターンの中心点からの半径  $R_2$  に依存している。準結晶パターンの中心点からの半径  $R_2$  を大きくすると生成されるスポット像が明るくなる。準結晶パターンの中心点からの半径  $R_2$  は任意であるが、スポット像の明るさ、他の準結晶パターンと重複する可能性等を考慮して、約  $500 \mu\text{m}$  ~ 約  $1.0 \text{mm}$  程度であることが好ましい。

【0054】

スポット像の大きさは、開口部 140 の円形孔の径、照射する電磁波の波長に依存している。開口部 140 の円形孔の半径  $R_1$  を大きくすると生成されるスポット像の径も大きくなる。また、照射する電磁波の波長を長くすると生成されるスポット像の径も大きくなる。開口部 140 の円形孔の半径  $R_1$  は任意であるが、円形孔の半径  $R_1$  は、円形孔の加工容易性、電磁波の回折・干渉特性等を考慮して、約  $0.1 \mu\text{m}$  ~ 約  $1.0 \mu\text{m}$  であることが好ましい。

10

【0055】

次に、準結晶パターン同士ができるだけ重複しないように配置する手法について説明する。

【0056】

図 8 は、隣り合う 2 つの開口部 140 が遮光膜 130 上で重なり合った様子を示す図である。2 つの開口部 140 が重なり合ってひとまとまりの開口部となった場合、準結晶パターンで配置された複数の開口部 140 はスポット像を正しく生成することができない。このため、複数の準結晶パターンを同一平面上に組み合わせるとき、隣り合う開口部 140 ができるだけ重なり合うことがないように、開口部 140 の配置パターンを決定する必要がある。

20

【0057】

準結晶パターンがその中心点を通る Z 軸の周りに回転されたとしても、準結晶パターンで配置された複数の開口部 140 により生成されるスポット像には影響を及ぼさない。このため、複数の準結晶パターンを同一平面上で組み合わせると開口部 140 の配置パターンを生成するとき、隣接する開口部 140 ができるだけ重なり合わないよう、追加する準結晶パターンを配置済みの準結晶パターンに対して中心点を通る Z 軸の周りに適宜の回転角で回転してから配置する。

【0058】

次に、隣接するスポット像のコントラストを向上させる手法について説明する。

30

【0059】

スポット像同士を隣接させて光学像を生成する場合、スポット像の間に明るい領域が生成され、スポット像のコントラストが低下することがある。スポット像のコントラストは、隣接するスポット像を生成するレーザー光が互いに干渉するため低下する。このため、スポット像のコントラストを向上させるには、隣接するスポット像を生成するレーザー光を互いに異なる位相とすればよい。

【0060】

スポット像を生成するレーザー光の位相を変化させるには、フレネルゾーンプレートと準結晶パターンとを互いの中心点が一致するように重ね合わせ、フレネルゾーンプレートの暗輪帯に位置する準結晶パターンの格子点を削除すればよい。なお、フレネルゾーンプレートは、準結晶パターンの格子点の一部を削除するために使用されるものであって、実際に微細光学像を生成する際には使用されない。

40

【0061】

図 9 (a) は、レーザー光の位相を 0 にするフレネルゾーンプレート、図 9 (b) は、レーザー光の位相を  $\pi$  にするフレネルゾーンプレートである。フレネルゾーンプレートは、規則的に間隔の変化する同心円の輪帯を備えており、各輪帯からの光が同じ位相で一つの点に集まるように構成した光学素子である。図 9 (a)、(b) のフレネルゾーンプレートにおいて白い部分はレーザー光を透過する透過部分であり、黒い部分はレーザー光を遮る遮光部分すなわち暗輪帯である。

【0062】

50

以下、フレネルゾーンプレートを生成する具体的な手法を説明する。フレネルゾーンプレートは原点を中心とする複数の同心円の輪帯から構成されている。フレネルゾーンプレートを構成する1つの輪帯の内径及び外径を  $r_m^{(1)}$ 、 $r_m^{(2)}$  とすると、 $r_m^{(1)} < r_m^{(2)}$  であり、 $r_m^{(1)} < r_{m+1}^{(1)}$  かつ  $r_m^{(2)} < r_{m+1}^{(2)}$  である。ただし、 $m$  は1から  $M$  までの整数であり、同心円が外側に配置されるにつれて大きくなる整数である。また、フィルタを重ね合わせる準結晶パターンにおける中心点から最も外側の格子点までの距離を  $r_{max}$  としたとき、 $r_M^{(2)} > r_{max}$  となるように  $M$  を定める。

【0063】

フレネルゾーンプレートは、スポット像の位相が（単位はラジアン）になるように設計する。より具体的には、以下の式を満たす最小の  $N$ （正の整数）を探す。 10

【0064】

【数4】

$$\left(\frac{p_0 + N\pi}{2\pi}\right)^2 - f^2 > 0$$

ただし、 $p_0 = \dots / 2$  であり、 $f$  は準結晶素子からスポット像までの距離である。

【0065】

$N$  が偶数の場合、以下の式を満たすように輪帯の同心円の半径を決定することによりフレネルゾーンプレートを生成する。 20

【0066】

【数5】

$$r_1^{(1)} = 0$$

$$r_m^{(2)} = \sqrt{\left(\frac{p_0 + (2m - 2 + N)\pi}{2\pi}\right)^2 - f^2}$$

$$m = 1, 2, \dots, M$$

$$r_{m+1}^{(1)} = \sqrt{\left(\frac{p_0 + (2m - 1 + N)\pi}{2\pi}\right)^2 - f^2}$$

$$m = 1, 2, \dots, M - 1$$

【0067】

また、 $N$  が奇数の場合、以下の式を満たすように輪帯の同心円の半径を決定することによりフレネルゾーンプレートを生成する。

【0068】

20

30

40

【数 6】

$$r_m^{(1)} = \sqrt{\left(\frac{p_0 + (2m - 2 + N)\pi}{2\pi}\right)^2 - f^2}$$

$$m = 1, 2, \dots, M$$

10

$$r_m^{(2)} = \sqrt{\left(\frac{p_0 + (2m - 1 + N)\pi}{2\pi}\right)^2 - f^2}$$

$$m = 1, 2, \dots, M$$

20

【0069】

次に、互いの中心点が一致するようにフレネルゾーンプレートと準結晶パターンとを重ね合わせる。そして、準結晶パターンの中心点から格子点までの距離を  $r$  としたとき、いずれかの  $m$  に対して  $r_m^{(1)} < r < r_m^{(2)}$  の条件を満たす格子点を削除すればよい。

【0070】

フレネルゾーンプレートを用いて準結晶パターンの格子点を部分的に削除した具体的な例について説明する。例えば、2つのスポット像を隣接して生成する場合、一方の準結晶パターンには図9(a)に示すスポット像の位相が0となるフレネルゾーンプレートを重ね合わせる。また、他方の準結晶パターンには、図9(b)に示すスポット像の位相が0となるフレネルゾーンプレートを重ね合わせる。次いで、フレネルゾーンプレートの暗輪帯と重なる領域、すなわち  $r_m^{(1)} < r < r_m^{(2)}$  の条件を満たしている格子点をすべて削除する。上記のとおり準結晶パターンの格子点を部分的に削除した場合、隣接するスポット像を生成するレーザー光が互いに逆位相となるため、スポット像のコントラストの向上を実現できる。

30

【0071】

図10は、格子定数  $a$  とスポット距離  $z$  との関係を示すグラフである。格子定数  $a$  は、準結晶パターンの元となる準結晶の格子構造を構成している菱形の1辺の長さである。また、スポット距離  $z$  は、微細光学像生成素子100に形成された準結晶パターンの中心点からスポット像が形成される位置までのZ軸方向の距離である。図10に示すように、スポット距離  $z$  は格子定数  $a$  を調整することにより調整できる。

40

【0072】

図10に示すグラフは、照射するレーザー光の波長が  $0.532 \mu\text{m}$  の場合に対応しているが、準結晶パターンの種類が同一であれば、レーザー光の波長が異なる場合でも利用することができる。レーザー光の波長を変更する場合は、変更した波長に合わせてグラフの縦軸及び横軸を適切にスケールすればよい。例えば、レーザー光の波長を2倍にする場合、グラフの縦軸及び横軸の数字をそれぞれ2倍にすればよい。

【0073】

図10のグラフに示す性質を利用して、スポット像を適宜組み合わせることで所望の3次元光

50

学像を生成する微細光学像生成素子100を構成できる。図11は、スポット距離 $z$ の異なる位置にそれぞれスポット像を生成する2つの準結晶レンズを組み合わせた微細光学像生成素子100を示す。それぞれの準結晶パターンで配置された複数の開口部140は互いに独立してスポット像を生成するため、図11に示す微細光学像生成素子100は、スポット距離 $z$ の異なる位置にそれぞれスポット像を生成できる。より複雑な3次元光学像を生成する場合には、スポット距離 $z$ で規定されるXY平面ごとに複数のスポット像を配置するように、格子定数の異なる複数の準結晶パターンを組み合わせ配置パターンを生成すればよい。

【0074】

次に、図12を参照して、微細光学像生成素子100における開口部140の配置パターンを生成する配置パターン生成処理について説明する。配置パターン生成処理はユーザがコンピュータを用いて実行する。

10

【0075】

まず、格子定数とスポット距離 $z$ との関係を導出する(ステップS101)。より詳細に説明すると、ペンローズタイルの準結晶パターンにおいて格子定数を少しずつ変更させ、格子定数に対応するスポット距離 $z$ を算出することにより、図10のグラフに示すように格子定数とスポット距離 $z$ との関係を導出する。

【0076】

次に、光学像を生成する位置のスポット距離 $z$ を決定する(ステップS102)。例えば、微細光学像生成素子100をフォトリソグラフィに適用する場合、スポット距離 $z$ は微細光学像生成素子100からレジストを塗布した基板までの距離に相当する。

20

【0077】

ステップS101で導出した関係に基づいて、スポット距離 $z$ に対応する格子定数を決定する(ステップS103)。具体的には、図10のグラフを参照して、縦軸のスポット距離 $z$ に対応する値を横軸から読み取ることにより格子定数を決定する。

【0078】

次に、生成するスポット像の大きさ、明るさを考慮して、開口部140の半径 $R_1$ 、準結晶パターンの半径 $R_2$ を決定する(ステップS104)。

【0079】

ステップS103で決定された格子定数、ステップS104で決定された開口部140の半径 $R_1$ 、準結晶パターンの半径 $R_2$ に基づいて準結晶パターンを生成する(ステップS105)。

30

【0080】

次に、スポット距離 $z$ の位置に所望の光学像を生成するように $n$ 個のスポット像の配列を決定する(ステップS106)。例えば、直線の像を生成する場合は、図7(b)に示すように、距離 $d$ ずつ間隔を空けて直線上に並ぶように $n$ 個のスポット像を配列する。また、曲線の像も生成する場合は、図7(d)に示すように、曲線状に並ぶように $n$ 個のスポット像を配列する。

【0081】

ステップS106で決定された $n$ 個のスポット像の配列に基づいて $n$ 個の準結晶パターンの配置を決定するために準結晶パターン配置処理を実行する(ステップS107)。

40

【0082】

ここで、図13のフローチャートを参照して、ユーザがコンピュータを用いて実行する準結晶パターン配置処理について説明する。準結晶パターン配置処理は、複数の準結晶パターンを重ね合わせたとき、開口部140が互いに重複しないように配置するための処理である。

【0083】

まず、平面上に1つの準結晶パターンを配置する(ステップS201)。例えば、準結晶パターンの中心点が平面上に設定した直交座標系の原点に位置するように準結晶パターンを配置する。

50

## 【 0 0 8 4 】

次に、ステップ S 2 0 1 で配置した準結晶パターンと同一平面上に新たな準結晶パターンを追加する（ステップ S 2 0 2）。例えば、直線の光学像を生成する場合、ステップ S 2 0 1 で配置した準結晶パターンの中心点を配置した原点から、図 7（b）に示すように距離  $d$  だけ離れた任意の位置に追加の準結晶パターンの中心点が位置するように、同一平面上に準結晶パターンを追加する。

## 【 0 0 8 5 】

次に、複数の準結晶パターンが組み合わされた配置パターンにおいて、隣接する格子点間の距離が閾値よりも小さいかどうかを判定する（ステップ S 2 0 3）。閾値は開口部の半径  $R_1$  に依存しており、例えば、開口部の半径  $R_1$  の 2 倍の長さに設定する。隣接する格子点間の距離が閾値よりも小さい場合（ステップ S 2 0 3：YES）、遮光膜 1 3 0 で隣接する開口部 1 4 0 が重なるおそれがあると判断して、既に配置済みの準結晶パターンとできるだけ重複しないようにステップ S 2 0 2 で追加した準結晶パターンを回転する（ステップ S 2 0 4）。

10

## 【 0 0 8 6 】

より詳細に説明すると、回転角を少しずつ（例えば  $1^\circ$  ずつ）変えながら、既に配置されている準結晶パターンの格子点と追加する準結晶パターンの格子点との重複数をカウントする。そして、格子点同士の重複数が最も少ない回転角を最適な回転角であるとして、当該最適な回転角で追加した準結晶パターンを回転させる。

## 【 0 0 8 7 】

隣接する格子点間の距離が閾値よりも小さい場合（ステップ S 2 0 3：NO）、又はステップ S 2 0 4 の処理を実行した後、ステップ S 2 0 2 で追加した準結晶パターンが最後の準結晶パターンかどうかを判定する（ステップ S 2 0 5）。ステップ S 2 0 2 で配置された準結晶パターンが最後の準結晶パターンである場合（ステップ S 2 0 5：YES）、処理をリターンする。

20

## 【 0 0 8 8 】

ステップ S 2 0 2 で配置された準結晶パターンが最後の準結晶パターンでない場合（ステップ S 2 0 5：NO）、ステップ S 2 0 2 に処理を戻す。そして、最後の準結晶パターンを配置するまでステップ S 2 0 2 ~ S 2 0 5 の処理を繰り返す。以上の処理により複数の準結晶パターンができるだけ重なり合うことなく同一平面上に配置される。

30

## 【 0 0 8 9 】

再び図 1 2 のフローチャートを参照して、配置パターン生成処理の説明に戻る。ステップ S 1 0 7 の準結晶パターン配置処理を実行した後、像のコントラストが目標とするコントラストよりも低いかどうかを判定する（ステップ S 1 0 8）。像のコントラストが目標とするコントラストよりも低い場合（ステップ S 1 0 8：YES）、コントラスト向上処理を実行する（ステップ S 1 0 9）。像のコントラストが目標とするコントラストよりも低い場合（ステップ S 1 0 8：NO）、次のステップ S 1 1 0 へ進む。

## 【 0 0 9 0 】

ここで、図 1 4 のフローチャートを参照して、ユーザがコンピュータを用いて実行するコントラスト向上処理（ステップ S 1 0 9）について説明する。コントラスト向上処理は、準結晶パターンで配置された複数の開口部 1 4 0 を通過するレーザ光の位相を変化させ、隣接する 2 つのスポット像 A、B のコントラストを向上させる処理である。以下では、スポット像 A を構成する準結晶パターンを、スポット像 B を構成する準結晶パターンをとす。

40

## 【 0 0 9 1 】

まず、準結晶パターンにスポット像の位相を 0 にする第 1 のフレネルゾーンプレートを重ねる（ステップ S 3 0 1）。第 1 のフレネルゾーンプレートは、図 9（a）に示すフレネルゾーンプレートであり、その中心点が準結晶パターンの中心点と一致するように重ねる。

## 【 0 0 9 2 】

50



第1のフレネルゾーンプレートの暗輪帯と重複する準結晶パターン の格子点を削除する(ステップS302)。準結晶パターン を含むその他の準結晶パターンについては処理を行わない。第1のフレネルゾーンプレートの暗輪帯にある準結晶パターンの格子点を削除することにより、スポット像を生成するレーザ光の位相を0に変化させることができる。

【0093】

準結晶パターン にスポット像の位相を にする第2のフレネルゾーンプレートを重ねる(ステップS303)。第2のフレネルゾーンプレートは、図9(b)に示すフレネルゾーンプレートであり、その中心点が準結晶パターン の中心点と一致するように重ねる。

10

【0094】

第2のフレネルゾーンプレートの暗輪帯と重複する準結晶パターン の格子点を削除する(ステップS304)。準結晶パターン を含むその他の準結晶パターンについては処理を行わない。第2のフレネルゾーンプレートの暗輪帯にある準結晶パターンの格子点を削除することにより、スポット像を生成するレーザ光の位相を に変化させることができる。ステップS304の処理を実行した後、処理をリターンする。コントラスト向上処理を実行することにより、隣接するスポット像を生成するレーザ光が互いに逆位相となるため、スポット像の高いコントラストを実現できる。

【0095】

再び図12のフローチャートを参照して、配置パターン生成処理の説明に戻る。ステップS109のコントラスト向上処理を実行した後、ステップS102で決定したスポット距離 $z$ とは異なる距離に像を追加するかどうかを判定する(ステップS110)。ステップS102で決定したスポット距離 $z$ とは異なる距離に像を追加する場合(ステップS110: YES)、ステップS102に処理に戻る。ステップS102~S110の処理を繰り返すことにより、所望の3次元光学像を生成するための開口部140の配置パターンを生成できる。

20

【0096】

ステップS102で決定したスポット距離 $z$ とは異なる距離に像を追加しない場合(ステップS110: NO)、配置パターン生成処理を終了する。

【0097】

次に、図15を参照して、微細光学像生成素子100の製造方法について説明する。

30

【0098】

まず、図15(a)に示すように、基板110の上にタングステンシリサイドの遮光膜130をスパッタ成膜法により形成する。遮光膜130は、光を遮光する材料であればタングステンシリサイド以外のいかなる材料を用いてもよい。

【0099】

次に、図15(b)に示すように、基板110上に形成された遮光膜130の表面に電子線レジストZEP520Aを成膜する。レジストの成膜にはスピンコートを用いる。例えば、レジストの厚さは約370nmである。

【0100】

次に、図15(c)に示すように、電子線描画装置を用いて図12に示す配置パターン生成処理にて決定された配置パターンで複数の開口部140を遮光膜130に現像する。現像工程においては電子線描画装置以外にも、レーザ加工機、集束イオンビーム加工装置等を用いてもよい。

40

【0101】

次に、図15(d)に示すように、開口部140を現像された遮光膜130にプラズマ化した $SF_6$ ガスを用いてドライエッチングを施す。

【0102】

最後に、図15(e)に示すように、電子ビームによって露光されたレジストを除去する。以上の工程により微細光学像生成素子100の製造が終了する。

50

## 【0103】

次に、本発明の実施の形態1に係る微細光学像生成素子100の特性を検証するために、以下の実施例1～5に示すようにコンピュータを用いてシミュレーションを実施した。

## 【0104】

(実施例1)

実施例1においては、2つの異なる点A、Bに同一の大きさ、明るさのスポット像を生成する微細光学像生成素子100について検討した。微細光学像生成素子100から各スポット像までのスポット距離 $z$ は $192\ \mu\text{m}$ 、点Aの座標は $(x, y) = (0, 0)$ 、点Bの座標は $(x, y) = (1.17\ \mu\text{m}, 1.17\ \mu\text{m})$ である。また、レーザ光の波長は $532\ \text{nm}$ である。

10

## 【0105】

まず、スポット距離 $z$ が $192\ \mu\text{m}$ となるようにペンローズタイルの準結晶パターンを生成した。このとき、準結晶パターンの格子定数は $13.45\ \mu\text{m}$ 、準結晶パターン全体の半径 $R_2$ は $800\ \mu\text{m}$ である。

## 【0106】

次に、生成された準結晶パターンを用いて開口部140の配置パターンを生成した。まず、中心点が平面上の座標 $(x, y) = (0, 0)$ に位置するように点Aのスポット像に対応する準結晶パターンを配置した。そして、中心点が平面上の座標 $(x, y) = (1.17\ \mu\text{m}, 1.17\ \mu\text{m})$ に位置するように点Bのスポット像に対応する準結晶パターンを配置した。このとき、点Bのスポット像に対応する準結晶パターンの格子点が点Aのスポット像に対応する準結晶パターンの格子点とできるだけ重なり合わないよう

20

## 【0107】

次に、生成された配置パターンで同一の遮光膜130に複数の開口部140を形成することにより微細光学像生成素子100を製造した。基板110の厚さは約 $0.7\ \text{mm}$ 、遮光膜130の厚さは $80\ \text{nm}$ 、開口部140の半径 $R_1$ は $0.532\ \mu\text{m}$ である。

## 【0108】

図16(a)は、実施例1の微細光学像生成素子100にレーザ光を照射して生成されたスポット像を示す。スポット距離 $z$ が $192\ \mu\text{m}$ にある平面上に2つのスポット像が別々

30

## 【0109】

(実施例2)

実施例2においては、点Bのスポット像のサイズを点Aのスポット像のサイズより大きくなるように生成する微細光学像生成素子100について検討した。点Bのスポット像を生成する準結晶パターンで配置される開口部140の半径 $R_1$ を $0.745\ \mu\text{m}$ に設定した以外は、実施例1と同一の条件である。

## 【0110】

図16(b)に示すように、実施例2の微細光学像生成素子100にレーザ光を照射すると、右上にある点Bのスポット像が左下にある点Aのスポット像よりも大きく生成された。開口部の半径 $R_1$ を大きくすることによりスポット像の径を拡大できることを確認できた。

40

## 【0111】

(実施例3)

実施例3においては、点Bのスポット像を点Aのスポット像よりも暗くなるように生成する微細光学像生成素子100について検討した。点Bのスポット像を生成する準結晶パターン全体の半径 $R_2$ を $266\ \mu\text{m}$ に設定した以外は、実施例1と同一の条件である。

## 【0112】

図16(c)に示すように、実施例3の微細光学像生成素子100にレーザ光を照射すると、点Bのスポット像は点Aのスポット像よりも暗く生成された。準結晶パターン全体

50

の半径  $R_2$  を小さくすることによりスポット像の径を暗くできることを確認できた。

【0113】

(実施例4)

実施例4においては、直線の光学像を生成する微細光学像生成素子100について検討した。理解を容易にするために、4つのスポット像を一定間隔で並べて直線の像を生成する例を説明する。4つのスポット像を作るためには同一平面上に4つの準結晶パターンを重ね合わせる必要がある。それ以外は実施例1と同一の条件である。

【0114】

まず、目標とする直線の光学像を4つのスポット像の重ね合わせで表現する。点A~Dのスポット像を以下のとおり配置した。

点Aのスポット像は  $(x, y) = (0.0 \mu\text{m}, 0.0000 \mu\text{m})$

点Bのスポット像は  $(x, y) = (0.0 \mu\text{m}, 0.2926 \mu\text{m})$

点Cのスポット像は  $(x, y) = (0.0 \mu\text{m}, 0.5320 \mu\text{m})$

点Dのスポット像は  $(x, y) = (0.0 \mu\text{m}, 0.8246 \mu\text{m})$

【0115】

次に、4つの準結晶パターンを点A~Dの位置に合わせて同一平面上に配置した。このとき、4つの準結晶パターンを組み合わせた配置パターンで遮光膜130に複数の開口部140を配置した場合に、隣接する開口部140ができるだけ重複しないように4つの準結晶パターンを組み合わせた。具体的には、以下に示すとおりである。

【0116】

点Aのスポット像に対応する準結晶パターンは、中心点が  $(x, y) = (0.0 \mu\text{m}, 0.0000 \mu\text{m})$  となるように配置された。

点Bのスポット像に対応する準結晶パターンは、中心点が  $(x, y) = (0.0 \mu\text{m}, 0.2926 \mu\text{m})$  に配置された。また、点Aのスポット像に対応する準結晶パターンに比べて中心点の軸周りに  $68^\circ$  回転された。

点Cのスポット像に対応する準結晶パターンは、中心点が  $(x, y) = (0.0 \mu\text{m}, 0.5320 \mu\text{m})$  となるように配置された。

点Dのスポット像に対応するパターンは、中心点が  $(x, y) = (0.0 \mu\text{m}, 0.8246 \mu\text{m})$  に配置された。また、点Aのスポット像に対応する準結晶パターンに比べて中心点の軸周りに  $29^\circ$  回転された。

【0117】

図16(d)に示すように、実施例4の微細光学像生成素子100にレーザ光を照射すると、4つのスポット像が重なり合って1つの直線の像を生成することが確認できた。準結晶パターンを重ね合わせたときに開口部140ができるだけ重なり合わないよう配置しているため、それぞれのスポット像が歪むことなく重なり合い、全体として1つの直線の光学像を生成できた。

【0118】

(実施例5)

実施例5においては、2つのスポット像からなる3次元光学像を生成する微細光学像生成素子100について検討した。点Aのスポット像のスポット距離  $z$  は  $192.36 \mu\text{m}$ 、点Bのスポット像のスポット距離  $z$  は  $192.73 \mu\text{m}$  に設定した。それぞれのスポット距離  $z$  に対応する格子定数はそれぞれ  $21.263 \mu\text{m}$ 、 $21.267 \mu\text{m}$  である。それ以外は実施例1と同一の条件である。

【0119】

図16(e)に示すように、実施例5の微細光学像生成素子100にレーザ光を照射すると、スポット距離  $z$  が  $192.36 \mu\text{m}$  のXY平面においては点Aのスポット像がくっきりと現れたのに対し、点Bのスポット像はピンボケしている。また、図16(f)に示すように、スポット距離  $z$  が  $192.73 \mu\text{m}$  のXY平面においては、点Bのスポット像がくっきり現れたのに対し、点Aのスポット像はピンボケしている。このことから、準結晶パターンの格子定数を調整することにより所望の3次元光学像を生成できることを確

10

20

30

40

50

認できた。

【0120】

レーザ光の集光手段としてレンズを用いる場合、2枚のレンズを光軸方向にずらして配置したとしても、焦点距離が変化するだけで、2つのスポット像を生成できない。また、レーザ光の集光手段として図9に示すフレネルゾーンプレートを用いる場合、2枚のフレネルゾーンプレートを重ねて配置したとしても、フレネルゾーンプレートの透過部分が互いに重なり合うため、透過部分の重複数に応じて、レーザ光の透過率を増加させる機構を素子表面に作製しなければならず、実現が困難である。一方、微細光学像生成素子100においては、同一の遮光膜130に複数の準結晶パターンを組み合わせた配置パターンで複数の開口部140を形成することにより任意の光学像を生成できるため、光学系の省スペース化、製造コストの削減、設計の容易化を実現できる。

10

【0121】

以上説明したように、実施の形態1に係る微細光学像生成素子100においては、複数の準結晶パターンを同一平面上に組み合わせた配置パターンで複数の開口部140が形成された微細構造部120を備えている。多数のレンズからなる光学系を用いることなく微細光学像を生成できるため、光学系の設計及び製造に伴うコストを抑制できる。

【0122】

実施の形態1に係る微細光学像生成素子100においては、遮光膜130に複数の開口部140をできるだけ重複しないようなパターンで配置するだけで、所望の微細光学像を生成できる。このため、遮光膜130に複数の開口部140を設けるだけで所望の微細光学像を容易に生成できる。

20

【0123】

実施の形態1に係る微細光学像生成素子100においては、遮光膜130に同一深さ、同一直径の開口部140を形成しているため、複雑なパターンの微細加工を施す必要がない。このため、微細光学像生成素子100の製造が容易であり、歩留まり率も高い。

【0124】

実施の形態1に係る微細光学像生成素子100においては、表面に異物や欠陥が存在したとしても、微細光学像への影響が小さい。このため、微細光学像生成素子100の管理や取扱いが容易である。

【0125】

30

(実施の形態2)

図17を参照して、本発明の実施の形態2に係る微細光学像生成素子200について説明する。実施の形態1においては、基板110上に設けられ、複数の開口部140を備える遮光膜130を微細構造部120としていたが、微細構造部を基板に直接形成してもよい。実施の形態2に係る微細光学像生成素子200の基本的な構成は、実施の形態1に係る微細光学像生成素子100と同一であるため、以下、両者の異なる部分を中心に説明する。

【0126】

微細光学像生成素子200は、レーザ光の位相差を利用して集光する位相型の微細光学像生成素子である。微細光学像生成素子200は、レーザ光を透過可能な材料からなる基板210と、基板210に直接形成された微細構造部220と、を備えている。微細構造部220は、複数の準結晶パターンからなる配置パターンで配置された複数の凹部230を含んでいる。

40

【0127】

レーザ光は物質を透過する際に伝播速度が遅れるため位相が変化する。このため、基板210に形成された凹部230を通過するレーザ光の位相と、基板210のその他の部分を通過するレーザ光の位相との間にはずれが生じる。微細光学像生成素子200は、互いに位相差があるレーザ光同士の干渉・回折現象を利用して、レーザ光を一つの点に収束させ、スポット像を生成する。

【0128】

50

以上説明したように、実施の形態 2 に係る微細光学像生成素子 200 においては、基板 210 及び微細構造部 220 が一体に形成されている。このため、微細光学像生成素子 200 を容易に製造でき、製造コストを抑制できる。また、外部からの衝撃等に強いため、取扱いや管理が容易である。

【0129】

(実施の形態 3)

図 18 を参照して、本発明の実施の形態 3 に係る微細光学像生成素子 300 について説明する。実施の形態 3 に係る微細光学像生成素子 300 のように、基板上に形成された複数の凸部を微細構造部としてもよい。実施の形態 3 に係る微細光学像生成素子 300 の基本的な構成は、実施の形態 1 に係る微細光学像生成素子 100 と同一であるため、以下、

10

【0130】

微細光学像生成素子 300 は、レーザ光を透過可能な材料からなる基板 310 と、基板 310 の表面に形成された微細構造部 320 と、を備える。微細構造部 320 は、複数の準結晶パターンからなる配置パターンで配置された複数の凸部 330 から構成されている。凸部 330 は、円柱形に形成されており、タンゲステンシリサイド等の遮光性の金属材料から形成されている。

【0131】

微細光学像生成素子 300 にレーザ光が入射すると、凸部 330 はレーザ光を反射するのに対し、凸部 330 が設けられていない部分はレーザ光を透過する。基板 310 を透過したレーザ光は互いに回折・干渉して、一つの点に集光し、スポット像を生成する。

20

【0132】

以上説明したように、実施の形態 3 に係る微細光学像生成素子 300 においては、基板 310 に複数の凸部 330 を備えている。このため、凸部 330 を形成するための金属材料の使用量を抑制できるため、製造コストを抑制できる。

【0133】

(実施の形態 4)

図 19 を参照して、本発明の実施の形態 4 に係る微細光学像生成素子 400 について説明する。実施の形態 4 に係る微細光学像生成素子 400 のように、基板に直接形成された複数の凸部を微細構造部としてもよい。実施の形態 4 に係る微細光学像生成素子 400 の基本的な構成は、実施の形態 1 に係る微細光学像生成素子 100 と同一であるため、以下、

30

【0134】

微細光学像生成素子 400 は、実施の形態 2 に係る微細光学像生成素子 200 と同様に位相型の微細光学像生成素子である。微細光学像生成素子 400 は、レーザ光を透過可能な材料からなる基板 410 と、基板 410 の表面に直接形成された微細構造部 420 と、を備える。微細構造部 420 は、複数の準結晶パターンからなる配置パターンで配置された複数の凸部 430 から構成されている。

【0135】

微細光学像生成素子 400 にレーザ光を入射すると、凸部 430 を透過するレーザ光と、凸部 430 が設けられていない部分を透過するレーザ光とは、互いに位相が相違する。微細光学像生成素子 400 に照射されたレーザ光は、レーザ光同士の位相差により回折・干渉して一つの点に集光され、スポット像を生成する。

40

【0136】

以上説明したように、実施の形態 4 に係る微細光学像生成素子 400 においては、基板 410 及び微細構造部 420 が一体に形成されている。このため、微細光学像生成素子 400 を容易に製造でき、製造コストを抑制できる。また、外部からの衝撃等に強いため、取扱いや管理が容易である。

【0137】

(実施の形態 5)

50

図 20 を参照して、本発明の実施の形態 5 に係る微細光学像生成素子 500 について説明する。実施の形態 5 に係る微細光学像生成素子 500 のように、微細構造部を一对の基板で挟み込むように構成してもよい。実施の形態 5 に係る微細光学像生成素子 500 の基本的な構成は、実施の形態 1 に係る微細光学像生成素子 100 と同一であるため、以下、両者の異なる部分を中心に説明する。

#### 【0138】

微細光学像生成素子 500 は、一对の基板 510A、510B と、一对の基板 510A、510B の間に挟み込まれている微細構造部 520 と、を備える。一对の基板 510A、510B は、いずれもレーザ光を透過可能な材料から形成されている。微細構造部 520 は、光を遮る膜である遮光膜 530 と、遮光膜 530 に複数の準結晶パターンからなる配置パターンで配置された複数の開口部 540 と、を備える。

10

#### 【0139】

外部から基板 510A に入射されたレーザ光は、基板 510A の内部を通過して微細構造部 520 に到達する。微細構造部 520 は、開口部 540 に入射したレーザ光を透過し、その他の部分に入射したレーザ光を反射する。複数の開口部 540 を通過したレーザ光は回折・干渉作用により集束しつつ基板 510B を通過して外部にスポット像を生成する。

#### 【0140】

以上説明したように、実施の形態 5 に係る微細光学像生成素子 500 においては、微細構造部 520 が一对の基板 510A、510B により挟み込まれている。このため、外部からの衝撃等に強く、取扱いや管理が容易である。

20

#### 【0141】

##### (実施の形態 6)

図 21、22 を参照して、本発明の実施の形態 6 に係る微細光学像生成素子 600 について説明する。実施の形態 1 に係る微細光学像生成素子 100 は、レーザ光を内部に透過させてレーザ光の入射側と反対側に光学像を生成する透過型の微細光学像生成素子であったが、レーザ光を表面で反射させてレーザ光の入射側に光学像を生成する反射型の微細光学像生成素子として構成してもよい。実施の形態 6 に係る微細光学像生成素子 600 の基本的な構成は、実施の形態 1 に係る微細光学像生成素子 100 と同一であるため、以下、両者の異なる部分を中心に説明する。

30

#### 【0142】

図 21 に示すように微細光学像生成素子 600 は、遮光性の金属材料からなる基板 610 と、基板 610 に直接形成された微細構造部 620 と、を備える。微細構造部 620 は、複数の準結晶パターンからなる配置パターンで配置された複数の凹部 630 から構成される。基板 610 及び微細構造部 620 は、タンゲステンシリサイド等の金属材料により一体に形成されている。

#### 【0143】

図 22 に示すように、微細光学像生成素子 600 は、入射したレーザ光が微細構造部 620 の表面で反射し、反射光が干渉し合うことで光学像を生成する。複数の凹部 630 が準結晶パターンで配置されている場合、凹部 630 に入射したレーザ光は凹部 630 の側面及び底面で反射し、反射光が互いに干渉することにより集光し、レーザ光の入射側にスポット像を生成する。

40

#### 【0144】

以上説明したように、実施の形態 6 に係る微細光学像生成素子 600 においては、基板 610 及び凹部 630 が一体に形成されている。このため、微細光学像生成素子 600 を容易に製造でき、製造コストを抑制できる。また、外部からの衝撃等に強いため、取扱いや管理が容易である。

#### 【0145】

##### (実施の形態 7)

図 23 を参照して、本発明の実施の形態 7 に係る微細光学像生成素子 700 について説

50

明する。実施の形態 6 においては、金属製の基板 6 1 0 に直接凹部 6 3 0 を形成していたが、金属製の基板に直接凸部を形成してもよい。実施の形態 7 に係る微細光学像生成素子 7 0 0 の基本的な構成は、実施の形態 1 に係る微細光学像生成素子 1 0 0 と同一であるため、以下、両者の異なる部分を中心に説明する。

【 0 1 4 6 】

微細光学像生成素子 7 0 0 は、金属製の基板 7 1 0 と、基板 7 1 0 に直接形成された微細構造部 7 2 0 と、を備える。微細構造部 7 2 0 は、複数の準結晶パターンからなる配置パターンで配置された複数の凸部 7 3 0 から構成される。基板 7 1 0 及び微細構造部 7 2 0 は、タングステンシリサイド等の金属材料により一体に形成されている。

【 0 1 4 7 】

微細光学像生成素子 7 0 0 にレーザ光を照射すると、照射したレーザ光が微細構造部 7 2 0 の表面で反射・干渉することにより光学像を生成する。より詳細に説明すると、凸部 7 3 0 に入射したレーザ光は凸部 7 3 0 の側面及び上面で反射し、場合によっては凸部 7 3 0 の側面で反射したレーザ光が凸部 7 3 0 以外の部分で反射したり、凸部 7 3 0 以外の部分で反射したレーザ光が凸部 7 3 0 の側面で反射したりする。複数の凸部 7 3 0 が準結晶パターンで配置されている場合、この反射光が互いに干渉することにより集光し、レーザ光の入射側にスポット像を生成する。

【 0 1 4 8 】

以上説明したように、実施の形態 7 に係る微細光学像生成素子 7 0 0 においては、基板 7 1 0 及び凸部 7 3 0 が一体に形成されている。このため、微細光学像生成素子 7 0 0 を容易に製造できるため、製造コストを抑制できる。また、外部からの衝撃等に強いため、取扱いや管理が容易である。

【 0 1 4 9 】

そして、本発明はこれに限られず、以下に述べる変形も可能である。

【 0 1 5 0 】

(変形例)

上記実施の形態においては、微細光学像生成素子 1 0 0 は円盤形状であったが、本発明はこれに限定されない。微細光学像生成素子 1 0 0 は、微細構造部 1 2 0 が平面上に形成されていれば、いかなる形状であってもよく、例えば、正方形又は長方形の板状の基板 1 1 0 に微細構造部 1 2 0 を配置してもよい。

【 0 1 5 1 】

上記実施の形態においては、開口部 1 4 0 は円形孔であったが、本発明はこれに限定されない。開口部 1 4 0 はいかなる形状であってもよく、例えば、正方形、三角形、楕円形等であってもよい。

【 0 1 5 2 】

上記実施の形態においては、遮光膜 1 3 0 は光を透過しない金属材料から形成されていたが、本発明はこれに限定されない。例えば、遮光膜 1 3 0 は、光を透過しない半導体から形成されていてもよい。また、遮光膜 1 3 0 は必ずしも完全に光を遮断する必要はなく、例えば半透明な材料から形成されていてもよい。

【 0 1 5 3 】

上記実施の形態においては、微細構造部 1 2 0 を基板 1 1 0 上に配置していたが、本発明はこれに限られない。基板 1 1 0 は本質的な要素ではなく、微細構造部 1 2 0 の形状を保持することができれば他のいかなる手段を採用してもよい。例えば、微細構造部 1 2 0 を光学装置に直接貼り付けてもよい。

【 0 1 5 4 】

上記実施の形態においては、準結晶パターンを準結晶の格子構造の格子点から構成していたが、本発明はこれに限定されない。例えば、準結晶パターンとして、準結晶の格子構造を構成する菱形の各辺の中点、又は菱形の中央に設けられた点等から構成してもよい。

【 0 1 5 5 】

上記実施の形態においては、既に配置されている準結晶パターンの格子点と追加する準

10

20

30

40

50

結晶パターンの格子点とが重複する数を最小とするように準結晶パターンの回転角を決定していたが、本発明はこれに限られない。例えば、すべての準結晶パターンに対して、回転角のすべての組み合わせに対する格子点の重複する数を計算し、その中から最小とする回転角の組み合わせを決定してもよい。この場合、パッキング問題のような図形を最適な条件で充填させる最適化手法を用いて、最適な回転角の組み合わせを決定できる。

**【0156】**

上記実施の形態においては、準結晶パターンの中心点にある格子点はそのまにしていたが、本発明はこれに限られない。スポット像を隣接して配置した場合、準結晶パターンの中心点に位置する格子点は、互いに重複する可能性が高い。重複した格子点はスポット像を歪ませるだけであるため、このような格子点は準結晶パターンの生成時に予め除去してもよい。

10

**【0157】**

上記実施の形態においては、ユーザがコンピュータを用いて配置パターン生成処理、準結晶パターン配置処理、コントラスト向上処理を実行していたが、本発明はこれに限られない。例えば、これらの処理は、専用のシステム又は小型汎用コンピュータの記憶手段に記憶されたプログラムを実行することにより実現してもよい。また、本発明は、プログラムとして実現されてもよく、そのプログラムが記録された記憶媒体として実現されてもよい。

**【0158】**

上記実施の形態においては、エッチング等を用いて微細光学像生成素子100を製造していたが、本発明はこれに限られない。例えば、マイクロ波等の長波長の電磁波を使用する微細光学像生成素子100を製造する場合は、開口部140の半径 $R_1$ がmm~cmオーダーになるため微細加工は不要である。この場合、ドリル等を用いて生成した配置パターンで金属板に開口部140を形成すればよい。

20

**【0159】**

上記実施の形態においては、微細光学像生成素子100にレーザー光を照射した例を説明したが、本発明はこれに限られない。いかなる波長の電磁波を照射してもよく、例えば、X線を照射してもよい。X線を照射する場合、X線はガラスを透過しない性質を有しているため、実施の形態1~4、6に係る微細光学像生成素子100は、レーザー光を照射する場合とは異なり反射型の微細光学像生成素子として機能する。

30

**【0160】**

上記実施の形態においては、微細光学像生成素子100をフォトリソグラフィでのマスクパターンに適用する場合について述べたが、本発明はこれに限られない。例えば、レーザー加工、光ディスク、インターコネク、光マニピュレーション(光ピンセット)、蛍光分析でのパターン照射等に適用してもよい。

**【0161】**

例えば微細光学像生成素子100をレーザー加工に適用した場合、生成する光学像に合わせて対象物を直接造形できるため、従来のレーザー加工とは異なりレーザーをスキャンする必要がない。

**【0162】**

例えば微細光学像生成素子100を光学ディスクドライブに適用した場合、従来の物よりも小型化できると共に、多値記録による大容量化、並列読み出しによる高速化を実現できる。

40

**【0163】**

例えば微細光学像生成素子100を自由空間光インターコネクションに適用して、入力部と出力部の間に素子を設けた場合、コンピュータ内の複雑な配線を実現できる。また、光学レンズが不要であるため容易に光インターコネクションの集積化を実現できる。

**【0164】**

例えば微細光学像生成素子100を光ピンセットに適用した場合、複数の微粒子の同時捕捉が実現できる。また、蛍光分析に適用した場合、生体試料の指定した領域に光を照射

50



できる。電磁波としてX線、γ線等を用いることにより、微細光学像生成素子100を放射線治療装置、画像診断装置等の医療機器にも適用できる。

【0165】

上記実施の形態は例示であり、本発明はこれらに限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した発明の趣旨を逸脱しない範囲でさまざまな実施の形態が可能である。各実施の形態や変形例に記載した構成要素は自由に組み合わせることが可能である。また、特許請求の範囲に記載した発明と均等な発明も本発明に含まれる。

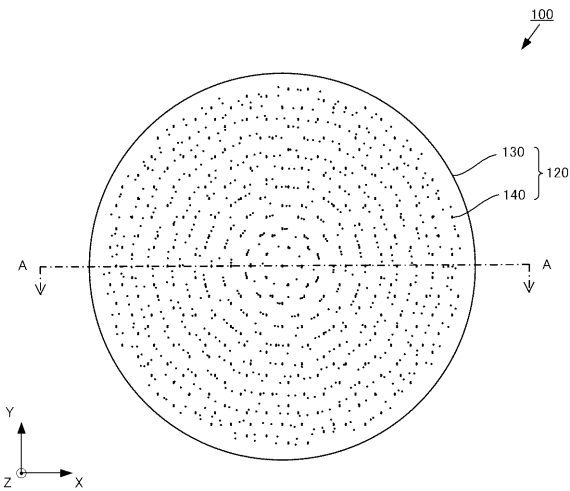
【符号の説明】

【0166】

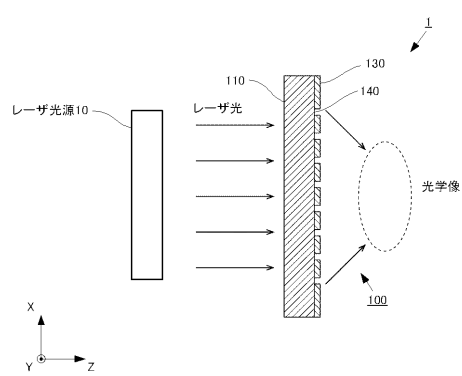
1...微細光学像生成装置、10...レーザ光源、100, 200, 300, 400, 500, 600, 700...微細光学像生成素子、100A, 100B...準結晶レンズ、110, 210, 310, 410, 510A, 510B, 610, 710...基板、120, 220, 320, 420, 520, 620, 720...微細構造部、130, 530...遮光膜、140, 140A, 140B, 540...開口部、230, 630...凹部、330, 430, 730...凸部、d...距離、 $e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$ ...基底ベクトル、 $L_A, L_B$ ...延長線、 $r, p$ ...格子点、 $R_1, R_2$ ...半径、 $z$ ...スポット距離、 $\dots$ 格子定数

10

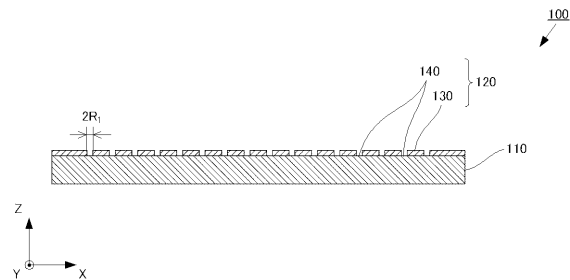
【図1】



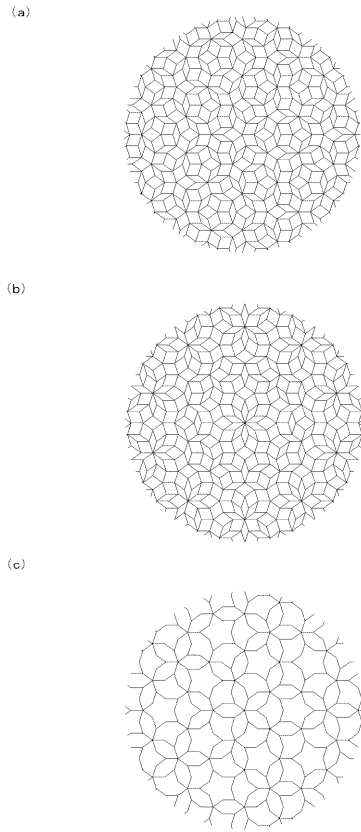
【図3】



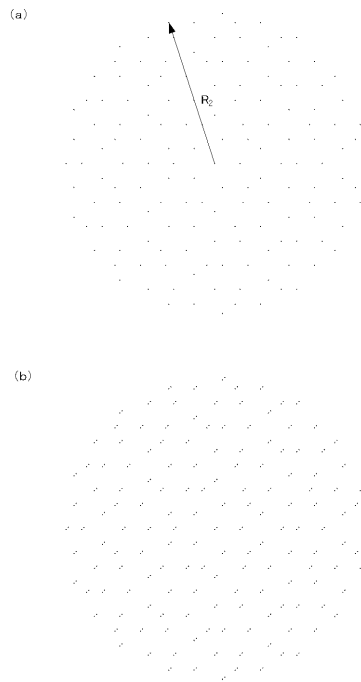
【図2】



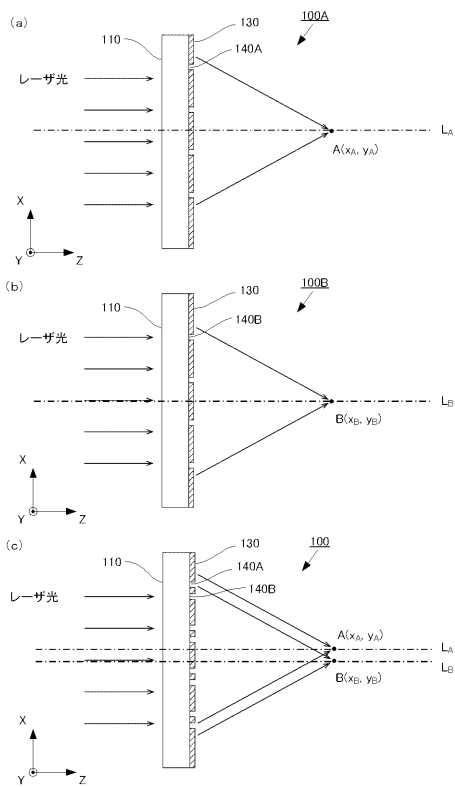
【 図 4 】



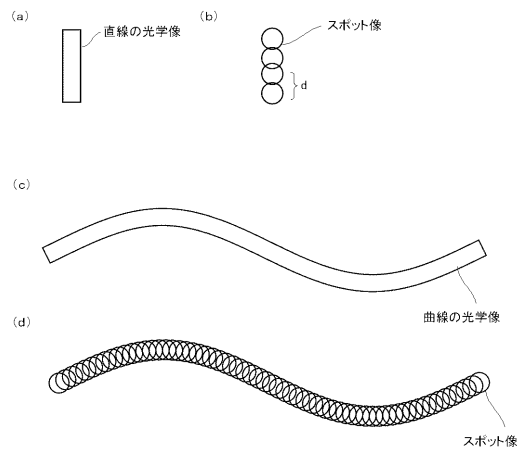
【 図 5 】



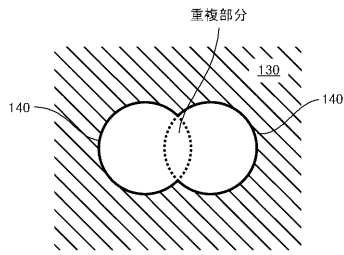
【 図 6 】



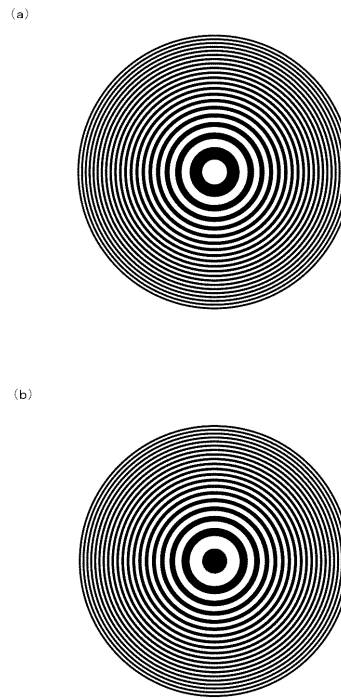
【 図 7 】



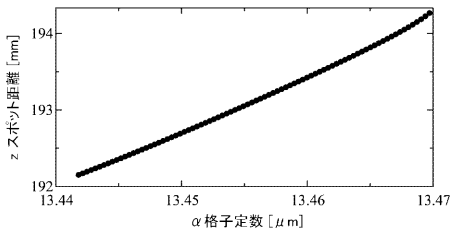
【 図 8 】



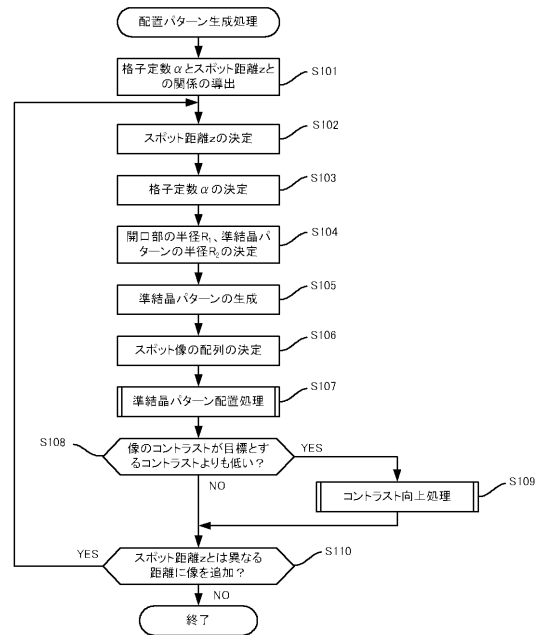
【 図 9 】



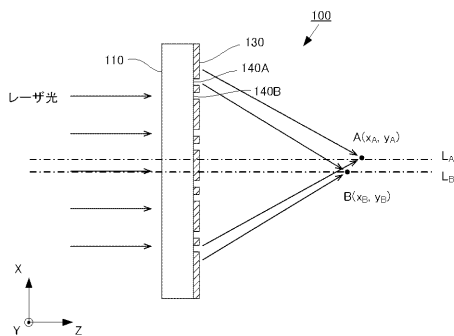
【 図 10 】



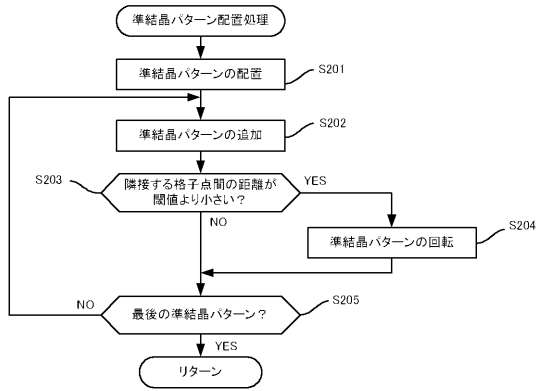
【 図 12 】



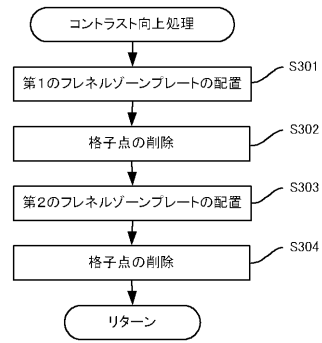
【 図 11 】



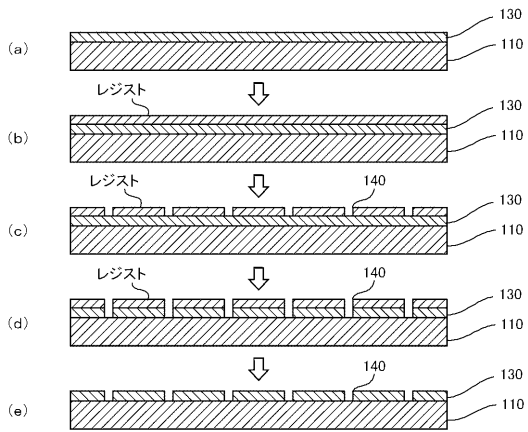
【 図 1 3 】



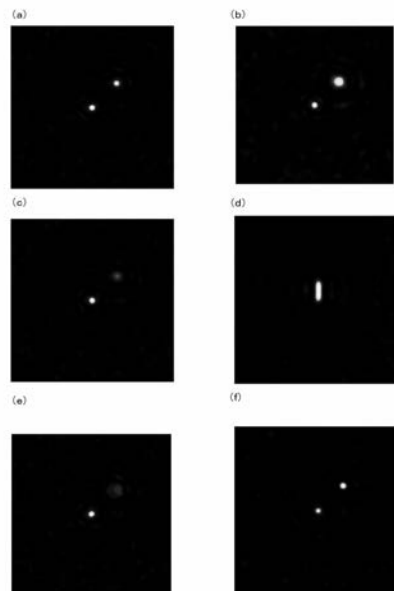
【 図 1 4 】



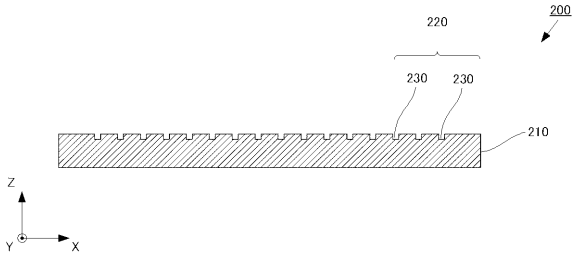
【 図 1 5 】



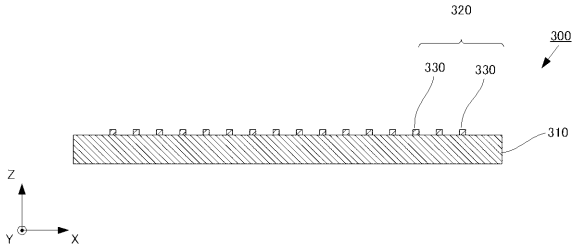
【 図 1 6 】



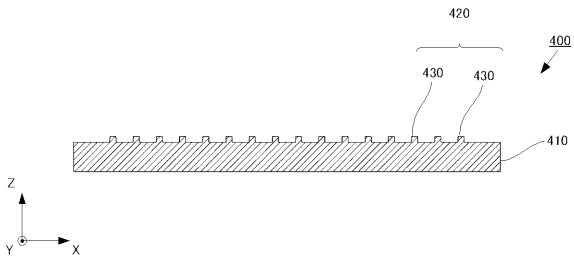
【図17】



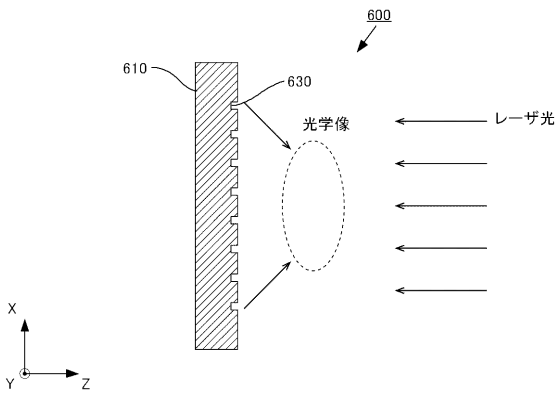
【図18】



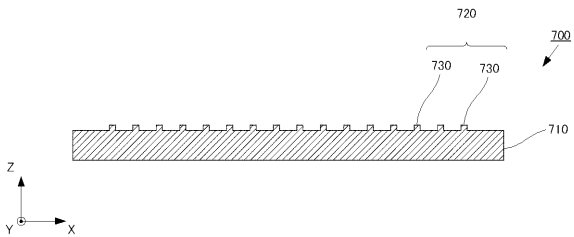
【図19】



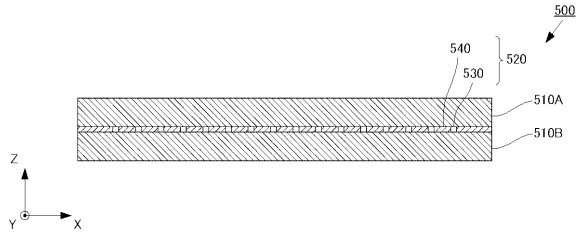
【図22】



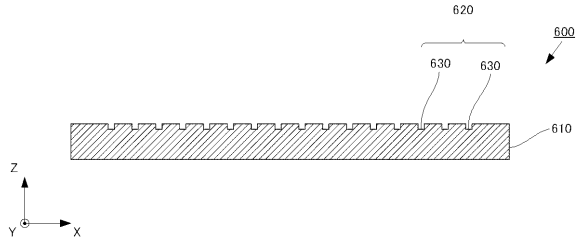
【図23】



【図20】



【図21】



---

フロントページの続き

(72)発明者 平山 浩一

北海道北見市公園町1 6 5 番地 国立大学法人北見工業大学内

Fターム(参考) 2H195 BA12 BB08 BB09 BB10 BB16 BB25 BB35 BC05

2H197 AA50 BA11 CA01 CA03 CA07 CA10 HA03 JA05