

WIPO | PCT

〔続葉有〕



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

この半導体レーザ装置は、半導体レーザチップ及びこの半導体レーザチップに光学的に結合した空間光変調器 SLM を備えている。半導体レーザチップ LDC は、活性層 4 と、活性層 4 を挟む一対のクラッド層 2、7 と、活性層 4 に光学的に結合した回折格子層 6 と、クラッド層 2 と空間光変調器 SLM との間に配置され、活性層 4 に電流を供給するための駆動電極 E3 とを備え、駆動電極 E3 は、XY 平面内に位置し、Z 軸方向から見て、複数の開口を有しており、非周期構造を有している。

明 細 書

発明の名称：半導体レーザ装置

技術分野

[0001] 本発明は、半導体レーザ装置に関する。

背景技術

[0002] 特許文献 1 は、2 次元的な周期構造を備えた面発光型レーザ素子を開示している。この面発光型レーザ素子は、フォトニック結晶層を備えている。同文献に開示されたフォトニック結晶層は、直交する 2 方向に周期的に孔を設けた構造を有している。非特許文献 1 は、周囲とは周期の異なる位相シフト領域を孔形成領域間に挿入した例を開示している。位相シフト領域を用いることにより、これを用いない場合とは異なったビームパターンを得ることができる。特に、円環状ビームは、光ピンセットなどに有効である。通常の単峰ビームでは、不透明物質の捕捉は困難であるが、円環状ビームは不透明物質の捕捉にも用いることが可能である（非特許文献 2）。なお、特許文献 2 は、面発光型レーザ素子を用いたプロジェクターを開示している。なお、一般に、プロジェクターは、画素毎に選択的に光を透過／遮断することで、所望の画像を形成する装置であるが、画素毎に波面の位相を制御するものではない。

[0003] 二次元的な広がりを持つレーザ光の微小領域毎の波面の位相を制御することができれば、微小領域毎の波面の重ね合わせにより、所望の画像を得ることができる。二次元的な広がりを持つレーザ光の近視野像をフーリエ変換したものがレーザの遠視野像であることを考慮すると、このような半導体レーザ装置は、種々の応用が期待される。ホログラムにフーリエ変換を行うと、再生像が得られることが知られており、このような装置は、ホログラム設計などにも利用することが期待される。また、フーリエ変換像は、検査装置における画像処理や、パターンマッチングなどにも用いられている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開 2 0 0 0－3 3 2 3 5 1 号公報

特許文献2：特開 2 0 1 0－2 1 9 3 0 7 号公報

非特許文献

[0005] 非特許文献1：Eiji Miyai他、“Lasers producing tailored beams”、Nature誌441巻946頁（2006）。

非特許文献2：Kyosuke Sakai他、“Optical trapping of metal particles in doughnut-shaped beam emitted by photonic-crystal laser”、Electronic Letters誌 43巻 107-108頁（2007）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、従来、波面制御すなわち微小領域毎の位相制御が可能な半導体レーザ装置は知られておらず、かかる半導体レーザ装置によって、波面を自由に重ね合わせ、変化可能な所望のレーザビームパターンを形成することはできなかった。本願発明者らは、このような課題を解決するに当たり、半導体レーザチップと空間光変調器とを重ね合わせた半導体レーザ装置を開発してきたが、出力されるレーザ光のノイズ光が含まれることを発見した。

[0007] 本発明は、このような課題に鑑みてなされたものであり、ノイズ光を低減可能で、変化可能な所望のレーザビームパターンを形成することができる半導体レーザ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

[0008] 上述の課題を解決するため、第1の半導体レーザ装置は、半導体レーザチップ及びこの半導体レーザチップに光学的に結合した空間光変調器を備え、前記半導体レーザチップの厚み方向に沿って出力されたレーザ光を、前記空間光変調器で変調して、外部に出力する半導体レーザ装置であって、前記半導体レーザチップは、活性層と、前記活性層を挟む一対のクラッド層と、前記活性層に光学的に結合した回折格子層と、前記空間光変調器側の前記クラ

ッド層と前記空間光変調器との間に配置され、前記活性層に電流を供給するための駆動電極とを備え、 $X Y Z$ 三次元直交座標系を設定し、前記半導体レーザチップの厚み方向を Z 軸方向とし、前記半導体レーザチップと前記空間光変調器との界面に平行な平面を $X Y$ 平面とした場合、前記駆動電極は、 $X Y$ 平面内に位置し、前記駆動電極は、 Z 軸方向から見て、複数の開口を有しており、前記駆動電極は、非周期構造を有していることを特徴とする。

[0009] 本願発明者らが、鋭意検討を行った結果、ノイズ光は、駆動電極における透過レーザ光の位相が重なる条件、又は、反射レーザ光の位相が重なる条件を満たしている場合には、ノイズ光が発生する旨を発見した。すなわち、駆動電極が複数の開口を有しており、これを透過させる構造の場合、透過時においては開口の配列パターンが周期性を有している場合には、レーザ光の干渉によりノイズ光が発生し、反射時においては駆動電極を構成する導電領域の配列パターンが周期性を有している場合には、レーザ光の干渉によりノイズ光が発生する。

[0010] そこで、本発明では、駆動電極を非周期構造とすることで、かかる干渉を抑制し、ノイズ光の発生を抑制することとした。

[0011] 好適には、第2の半導体レーザ装置においては、駆動電極は、 $X Y$ 平面内において第1の方向に沿って直線的に延びた複数の導電領域を備え、前記導電領域の X 軸方向の幅を X_e とし、前記導電領域間の X 軸方向の間隔を X_s とし、 N を整数として、 X 軸方向に沿って N 番目に位置する前記導電領域の幅 X_e を $X_e(N)$ とし、 X 軸方向に沿って N 番目に位置する間隔 X_s を $X_s(N)$ とした場合、幅 X_e には周期性がなく、 $X_e(N)$ と $X_e(N+1)$ は異なり、間隔 X_s には周期性がなく、 $X_s(N)$ と $X_s(N+1)$ は異なる。

[0012] 導電領域の幅 X_e が周期性を有していないため、これにより反射されるレーザ光が干渉してノイズ光が発生することが抑制され、開口を規定する導電領域間の間隔 X_s が周期性を有していないため、開口を透過したレーザ光が干渉してノイズ光が発生することが抑制される。

- [0013] また、半導体レーザ装置においては、前記半導体レーザチップのXY平面内における形状は長方形であり、前記長方形の一辺に平行な方向をY軸とした場合、前記第1の方向とY軸との成す角度 β は、 $\beta \neq n \times 90^\circ$ (n : 任意の整数) であることとしてよい。
- [0014] また、第3の半導体レーザ装置においては、前記駆動電極は、XY平面内において二次元的に位置する複数の開口を構成するように、第1の方向に沿って延びた複数の第1導電領域と、前記第1の方向とは異なる第2の方向に沿って延びた複数の第2導電領域とが重畳した形状を有しており、前記第1導電領域のX軸方向の幅を X_e1 とし、前記第1導電領域間のX軸方向の間隔を X_s1 とし、 N を整数として、X軸方向に沿って N 番目に位置する前記第1導電領域の幅 X_e1 を $X_e1(N)$ とし、X軸方向に沿って N 番目に位置する間隔 X_s1 を $X_s1(N)$ とした場合、幅 X_e1 には周期性がなく、 $X_e1(N)$ と $X_e1(N+1)$ は異なり、間隔 X_s1 には周期性がなく、 $X_s1(N)$ と $X_s1(N+1)$ は異なることを特徴とする。
- [0015] この場合も、上記と同様のノイズ光抑制効果があり、且つ、第2導電領域が存在するため、駆動電極の全体としての抵抗を低下させ、効率的に駆動電流を活性層に供給することができる。
- [0016] なお、各導電領域は、直線的に延びることも、曲線的に延びることもできる。
- [0017] また、第4の半導体レーザチップにおいては、前記第1導電領域及び前記第2導電領域の双方又はいずれか一方は、弧を描くように延びていることを特徴とする。この場合、導電領域が直線的に延びる場合に比較して、導電領域間の規則性が更に低下するため、駆動電極の構造の非周期性・ランダム性が向上してノイズ光が更に抑制され、また、その形状は、滑らかな連続的方向変化である弧状であるため、形状の急激な変化に起因する高調波ノイズ光も発生しにくいという利点がある。
- [0018] また、第5の半導体レーザ装置においては、前記駆動電極は、XY平面内において二次元的に位置する複数の開口を構成するように、第1の方向に沿

って延びた複数の第1導電領域と、前記第1の方向とは異なる第2の方向に沿って延びた複数の第2導電領域と、前記第1の方向及び前記第2の方向のいずれとも異なる第3の方向に沿って延びた複数の第3導電領域とが重畳した形状を有していることを特徴とする。

[0019] すなわち、幾つかの方向に延びた導電領域によって囲まれることで、上記開口が構成されるが、導電領域の延びる方向は、3つ以上であってもよい。より多くの方向に導電領域が延びた場合には、ランダム性が高くなるため、ノイズ光の発生が更に抑制されることが考えられる。

[0020] また、第6の半導体レーザ装置においては、前記駆動電極が設けられる領域は、第1の非周期性構造を有する導電領域が形成される第1領域と、第1の非周期性構造とは異なる第2の非周期性構造を有する導電領域が形成される第2領域とを備えていることを特徴とする。

[0021] 第1領域と第2領域とはパターンが異なるので、これらの領域からのレーザ光が全体として干渉して、ノイズ光が発生することが抑制される。

発明の効果

[0022] 本発明の半導体レーザ装置によれば、変化可能な所望のレーザビームパターンを形成することができる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]図1は、第1実施形態に係る半導体レーザ装置の縦断面図である。

[図2]図2は、第2実施形態に係る半導体レーザ装置の縦断面図である。

[図3]図3は、駆動電極の平面図である。

[図4]図4は、駆動電極の平面図である。

[図5]図5は、駆動電極の平面図である。

[図6]図6は、駆動電極の平面図である。

[図7]図7は、駆動電極の平面図である。

[図8]図8は、駆動電極の平面図である。

[図9]図9は、駆動電極の平面図である。

[図10]図10は、駆動電極の平面図である。

[図11]図 1 1 は、駆動電極の平面図である。

[図12]図 1 2 は、駆動電極の平面図である。

[図13]図 1 3 は、駆動電極の平面図である。

[図14]図 1 4 は、駆動電極の平面図である。

[図15]図 1 5 は、駆動電極の平面図である。

[図16]図 1 6 は、駆動電極の平面図である。

[図17]図 1 7 は、駆動電極の平面図である。

[図18]図 1 8 は、駆動電極の平面図である。

[図19]図 1 9 は、駆動電極の平面図である。

[図20]図 2 0 は、駆動電極の平面図である。

[図21]図 2 1 は、駆動電極の平面図である。

[図22]図 2 2 は、回折格子層の平面図である。

発明を実施するための形態

[0024] 以下、実施の形態に係る半導体レーザ装置について説明する。同一要素には同一符号を用いることとし、重複する説明は省略する。

[0025] 図 1 は、第 1 実施形態に係る半導体レーザ装置の縦断面図である。

[0026] この半導体レーザ装置は、化合物半導体からなる半導体レーザチップ L D C 及びこの半導体レーザチップ L D C に光学的に結合した空間光変調器 S L M を備えている。

[0027] 半導体レーザチップ L D C は、活性層 4 を含む発光層と、発光層を挟む一対のクラッド層 2, 7 と、発光層に光学的に結合した回折格子層 6 とを備えている。なお、発光層は、活性層 4 と必要に応じて活性層を挟む光ガイド層 3, 5 とからなる。半導体レーザチップ L D C は、半導体基板 1 を備えている。半導体基板 1 の厚み方向を Z 軸とし、これに垂直な 2 方向を X 軸及び Y 軸とする。

[0028] 製造時においては、半導体基板 1 の - Z 軸方向の表面上に、順次、各半導体層がエピタキシャル成長されるものとする。この場合、- Z 軸方向を上向きとした場合、半導体基板 1 上には、下部クラッド層 2、発光層（光ガイド

層 3、活性層 4、光ガイド層 5）、回折格子層 6、上部クラッド層 7、及びコンタクト層 8 が順次形成される。半導体基板 1 の + Z 軸側の表面上には電極 E 1 が形成されており、コンタクト層 8 の - Z 軸側の表面上には、電極 E 2 が形成されている。これらの電極 E 1、E 2 は駆動電極であり、電極 E 1 と半導体基板 1 との間には、半導体基板の全面に広がるストライプ或いはメッシュ状などの複数の開口を有する駆動電極 E 3 が介在している。

[0029] 第 1 電極 E 1（駆動電極 E 3）と第 2 電極 E 2 との間に、駆動回路から電流を供給すると、発光層が発光する。すなわち、第 1 電極 E 1 と第 2 電極 E 2 との間に駆動電流が供給された場合、活性層 4 内において電子と正孔の再結合が生じ、活性層 4 が発光する。これらの発光に寄与するキャリア及び発生した光は、上下の光ガイド層 3、5 とクラッド層 2、7 によって、これらの間に効率的に閉じ込められる。

[0030] 発光層において発生したレーザ光 L B は、回折格子層 6 内を伝播して、回折格子層 6 は、レーザ光を厚み方向に垂直な方向、すなわち Z 軸方向に出射する。回折格子層 6 から出射されたレーザ光は、+ Z 軸方向に進行し、クラッド層 2、半導体基板 1 を介して、空間光変調器 S L M に入射する。

[0031] 空間光変調器 S L M は、回折格子層 6 の厚み方向に沿って出力されたレーザ光 L B が入力されるように、半導体レーザチップ L D C に取り付けられている。レーザ光は、空間光変調器 S L M の共通電極 2 5 及び画素電極 2 1 のうちの透明な方を介して、液晶層 L C に入射する。空間光変調器 S L M は、レーザ光 L B の微小領域毎の位相を、その画素電極と共通電極との間に印加される駆動電圧により変調し、位相変調したレーザ光を反射させ、半導体レーザチップを介して、外部に出力する。

[0032] 空間光変調器 S L M から出力されたレーザ光 L B は、微小領域毎の位相が調整された状態で重ね合わせられ、様々なレーザビームパターンを形成する。例えば、重ね合されたレーザビーム L B の遠視野像が、特定の文字を構成することができる。

[0033] 半導体レーザ装置は、半導体レーザチップ L D C 上に配置され、所望のア

ドレスに位置する画素電極と共通電極との間に、選択的に駆動電圧を与える選択回路（行選択回路DR1，列選択回路（図示せず））を更に備えている。この選択回路を半導体レーザチップ上に設けることにより、大規模な外部配線群を設置することなく、空間光変調器を制御することができる。

[0034] 空間光変調器SLMは、透明な共通電極25と、透明な複数の画素電極21と、共通電極25と画素電極21との間に配置された液晶層LCとを備えている。液晶層LCは、ネマチック液晶、又は、強誘電性液晶などからなる。駆動回路からは、半導体レーザ素子を構成する半導体レーザチップに、駆動電極を介して、駆動電流が供給される。これにより、発光層からレーザ光LBが出力され、レーザ光LBは、空間光変調器の画素電極21を介して液晶層LCに至り、液晶層LCで位相変調された後、反射鏡或いは反射膜23によって反射され、共通電極25を介して、外部に出力される。共通電極25は、固定電位（グランド）に接続されており、画素電極21はスイッチ素子及び行ラインを介して行選択回路DR1に接続されている。列選択回路からは列ラインが延びており、スイッチ素子の制御端子に接続されている。このスイッチ素子は、電界効果トランジスタである。この場合、制御端子はトランジスタのゲートとなる。

[0035] 空間光変調器において、特定のアドレス（ x ， y ）を指定した場合、列選択回路から座標 x の列ラインにON信号が出力され、行選択回路DR1から座標 y の行ラインに所望の電位が与えられる。この場合、アドレス（ x ， y ）の画素電極21と共通電極25との間には、駆動電圧が印加され、液晶層の屈折率が変化することとなり、光路長が変化して、レーザ光の位相が調整される。なお、空間光変調器において、行方向と列方向は主観によって決まるものであり、相互に置換可能な方向である。駆動電圧の大きさは行選択回路DR1からの出力電位と列選択回路の出力電位によって決定されるものであり、一定とすることができるが、更に精密な位相制御を行う場合には、例えば、上記スイッチ素子毎に可変抵抗を接続し、当該可変抵抗の値を同様の構成からなる選択回路によって制御すればよい。

[0036] なお、製造時に空間光変調器の位相が面内ではらつきを有した際でもデバイスが所望のパターンを出力するように、予め空間光変調器の位相分布を測定しておき、これを補正するための記憶装置と、記憶装置の記憶データに基づいて、各画素電極に選択回路を介して与えられる駆動電圧を生成する空間光変調器用の駆動回路とを設けても良い。すなわち、この半導体レーザ装置は、予め空間光変調器の位相分布を測定しておき、測定値に基づいて位相の面内ばらつきを補正するための初期位相の補正值を記憶し、空間光変調器の画素電極毎に異なる初期位相を与えるための記憶装置を備えることができる。換言すれば、この装置は、駆動電圧の初期補正值を画素電極毎に記憶する記憶装置（図示せず）を備えている。駆動電圧は、制御装置（図示せず）から行及び列選択回路に印加されるが、この駆動電圧及び初期補正值は、記憶装置に記憶される。基準の位相分布と、測定された位相分布とを比較し、各画素毎の位相の差分に対応する駆動電圧の値を初期補正值とすることができ、初期補正值の駆動電圧を画素電極に与えた場合には、基準の位相分布が実現される。所望の位相分布を得るため、初期補正值に対応する駆動電圧に、所望の駆動電圧を重畳することができる。

[0037] 回折格子層 6 から厚み方向に出力されたレーザ光は、共通電極 2 5（或いは画素電極と位置を入れ替えた場合には画素電極 2 1）を介して液晶層 LC に至る。液晶層 LC の誘電率（屈折率）は、画素電極 2 1 への印加電圧によって変化し、したがって、レーザ光に対する液晶層 LC の光路長が変化し、位相が変化する。液晶層 LC を透過し往復したレーザ光 LB の位相は画素電極 2 1 毎に変調される。したがって、微小領域毎の波面制御を行うことができ、波面の重ね合わせにより、変化可能な所望のレーザビームパターンを形成することができる。

[0038] なお、駆動電極 E 3 上には、 SiO_2 又は SiNx からなる透明絶縁膜 9 が形成されている。透明絶縁膜 9 上には、空間光変調器 SLM の共通電極 2 5 が配置されている。共通電極 2 5 上には、液晶を保持するための枠状のスペーサ 2 4 が設けられ、スペーサ 2 4 内部の空間に液晶層 LC が充填されてい

る。スペーサ 24 及び液晶層 LC 上には、反射膜 23 が形成され、反射膜 23 上には、保護膜 22 を介して、複数の画素電極 21 が配置されている。画素電極 21 は、基板 20 と保護膜 22 との間に位置している。画素電極 21 等の形成時においては、好ましくは半導体からなる基板 20 上に、画素電極 21 を形成した後、その表面が平坦化するように保護膜 22 に画素電極 21 を被覆し、更に、保護膜 22 上に反射膜 23 を形成し、この中間体の基板を反転させて、枠状のスペーサ 24 上に配置する。なお、液晶層 LC の上下面には適当な配向膜が設けられる。

[0039] 液晶層 LC 上の反射膜 23 で反射されたレーザ光 LB は、共通電極 25 及び半導体レーザチップ LDC を介して、外部に出力される。また、回折格子層 6（の厚み方向中央位置）と、コンタクト層 8 との間の距離 t_1 は、半導体レーザチップにおけるコンタクト層 8 の露出表面で反射されたレーザ光 LB と、回折格子層 6 から直接、空間光変調器 SLM へと向かう光が強めあうように設定される。すなわち、距離 t_1 は、以下の関係を満たすことができる。 $2 \times t_1 = \lambda \times N$ 、または、 $2 \times t_1 = \lambda \times (N + 1/2)$ 。但し、 λ はレーザ光の波長、 N は整数を満たすように設定されている。

[0040] 発光層は、活性層 4 及びこれを挟む光ガイド層 3, 5 からなり、コンタクト層 8 は、必要に応じて設けられる。半導体レーザチップは、活性層 4 の形成されたレーザ光生成領域 LD を備えており、回折格子層 6 は、レーザ光生成領域 LD に位置しており、回折格子層 6 の厚み方向に向けてレーザ光 LB を出射する。空間光変調器 SLM は、レーザ光生成領域 LD 上に取り付けられている。この構造の場合、レーザ光生成領域 LD 上に空間光変調器 SLM を配置することで、装置を小型化することができる。

[0041] なお、半導体基板 1 の +Z 側の面には、駆動電極 E3 が配置されている。この半導体レーザ装置は、半導体レーザチップ LDC 及びこの半導体レーザチップ LDC に光学的に結合した空間光変調器 SLM を備え、半導体レーザチップ LDC の厚み方向に沿って出力されたレーザ光 LB を、空間光変調器 SLM で変調して、外部に出力する半導体レーザ装置であって、半導体レー

ザチップＬＤＣは、活性層４と、活性層４を挟む一对のクラッド層２，７と、活性層４に光学的に結合した回折格子層６と、空間光変調器ＳＬＭ側のクラッド層２と空間光変調器ＳＬＭとの間に配置され、活性層４に電流を供給するための駆動電極Ｅ３と、を備えている。

[0042] なお、ＸＹＺ三次元直交座標系を設定されているが、半導体レーザチップＬＤＣの厚み方向をＺ軸方向とし、半導体レーザチップＬＤＣと空間光変調器ＳＬＭとの界面に平行な平面をＸＹ平面とした場合、駆動電極Ｅ３は、ＸＹ平面内に位置している。また、駆動電極Ｅ３は、Ｚ軸方向から見て、複数の開口を有しており、駆動電極Ｅ３は、非周期構造を有している。

[0043] ここで、レーザ光中に含まれるノイズ光を抑制するため、駆動電極Ｅ３の構造を非周期構造とした。駆動電極Ｅ３における透過レーザ光の位相が重なる条件、又は、反射レーザ光の位相が重なる条件を満たしている場合には、ノイズ光が観察された。すなわち、駆動電極Ｅ３が複数の開口を有しており、これを透過させる構造の場合、透過時においては開口の配列パターンが周期性を有している場合には、レーザ光の干渉によりノイズ光が発生し、反射時においては駆動電極をＥ３構成する導電領域の配列パターンが周期性を有している場合には、レーザ光の干渉によりノイズ光が発生する。

[0044] そこで、本実施形態では、駆動電極Ｅ３を非周期構造とすることで、かかる干渉を抑制し、ノイズ光の発生を抑制している。

[0045] 駆動電極Ｅ３を構成する導電領域の材料としては、ＡｇやＡｕなどの金属を用いることができるが、半導体基板１内に、これよりも高濃度の不純物を拡散して、導電領域を形成することもできる。なお、駆動電極Ｅ３の材料として、ＩＴＯ、ＺｎＯ、グラフェン、Ａｇナノワイヤなどの透明電極を用いることも可能ではあるが、低抵抗の材料の方が好ましいため、透明電極よりも、ストライプやメッシュ状の開口を有する不透明金属材料を用いることが好ましい。

[0046] 駆動電極Ｅ３上には透明絶縁膜９が形成され、電極Ｅ１は、駆動電極Ｅ３に電氣的及び物理的に接続されており、大きな開口形状を有している。空間

光変調器 S L M は、電極 E 1 の開口形状の内部に設けられる。この場合、行選択回路 D R 1 及び列選択回路は、電極 E 1 の外部に位置することになるため、これらから画素電極及び共通電極までは、適当な接続配線を施す。また、電極 E 2 はレーザ光 L B について、一部または全部を透過するように構成されている。電極 E 2 も駆動電極 E 3 と同様の構造を採用することができる。

[0047] 図 2 は、第 2 実施形態に係る半導体レーザ装置の縦断面図である。

[0048] 第 2 実施形態は、第 1 実施形態と比較して、 $1/4$ 波長板 2 6 及び偏光板 2 7 を用いた点が異なり、その他の構成は同一である。

[0049] 回折格子層 6 は、例えば三角形形状が正方格子状に並べられたような構成から構成されており、上下方向に直線偏光の光を回折する。このときの回折格子層 6 から出力される直線偏光の偏光透過軸を軸 A とすると、偏光板 2 7 の偏光透過軸は軸 A と直交する方向（軸 B とする）に設定されている。また、 $1/4$ 波長板の速軸は、軸 A から 45° 回転した方向に設定されている。 $1/4$ 波長板 2 6 を介して空間光変調器 S L M に入射し、空間光変調器 S L M を往復して、再度、 $1/4$ 波長板 2 6 を逆方向へ通過したレーザ光は、偏光方位が 90 度回転する。すなわち、レーザ光 L B が、第 1 の偏光方向（軸 A）を有する直線偏光として、 $1/4$ 波長板 2 6 に入射した場合には、これを 2 度通過した後には、第 1 の偏光方向に対して 90 度回転した第 2 の偏光方向（軸 B）を有する直線偏光となる。

[0050] したがって、偏光板 2 7 における偏光方向を、第 2 の偏光方向（軸 B）に一致させれば、空間光変調器 S L M を往復したレーザ光のみが偏光板 2 7 を透過し、他の偏光方向の成分は偏光板 2 7 によって遮断される。したがって、液晶層 L C による変調を受けていないノイズ成分が、出力画像から除去され、コントラストが改善する。なお、共通電極 2 5 と $1/4$ 波長板 2 6 の位置は入れ替えることができる。

[0051] 図 2 2 は、回折格子層の平面図である。

[0052] 上述の回折格子層 6 は、例えば、基本層 6 A と異屈折率領域 6 B とからな

る。異屈折率領域 6 B は所定の深さで基本層 6 A 内に埋め込まれており、これと屈折率が異なる。異屈折率領域 6 B の平面形状は円形のもので示されているが、三角形や楕円形など他の形状とすることも可能である。例えば、特定の偏光方向の強度を上げるためには、80度の回転対称性をもたない形状とすることができる。直線偏光を得るためには、この形状は、例えば、二等辺三角形、直角三角形、直角二等辺三角形とすることができる。異屈折率領域 6 B は、正方格子の格子点位置に配置されているが、これは三角格子の格子点位置に配置されていてもよい。回折格子層 6 は、異屈折率領域の埋め込みにより、二次元的に屈折率変化する周期構造を有しているため、回折格子として機能すると共に、フォトリソニック結晶層として機能する。同図では、真円形状孔を正方格子状に並べた周期構造を用いているが、三角形状孔を正方格子状に並べた周期構造を用いても良く、半導体レーザ素子は、面発光レーザとして機能する。

[0053] なお、上述のレーザ素子の材料について説明する。

[0054] レーザ光生成領域 LD を構成する半導体レーザ素子の材料の一例として、半導体基板 1 は GaAs からなり、下部クラッド層 2 は AlGaAs からなり、下部光ガイド層 3 は AlGaAs からなり、活性層 4 は多重量子井戸構造 MQW (障壁層: AlGaAs / 井戸層: InGaAs) からなり、上部光ガイド層 5 は、下層 AlGaAs / 上層 GaAs からなり、上部クラッド層 7 が AlGaAs からなり、コンタクト層 8 が GaAs からなる。回折格子層 (位相変調層、屈折率変調層) 6 は基本層 6 A が GaAs、基本層 6 A 内に埋め込まれた異屈折率領域 (埋込層) 6 B が AlGaAs からなる。

[0055] なお、各層には、第 1 導電型 (N 型) の不純物又は、第 2 導電型 (P 型) の不純物が添加されており (不純物濃度は $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$)、半導体基板 1 を N 型、下部クラッド層 2 を N 型、下部光ガイド層 3 を I 型、活性層 4 を I 型、上部光ガイド層 5 の下層を P 又は I 型、上層を I 型、回折格子層 6 を I 型、上部クラッド層 7 を P 型、コンタクト層 8 を P 型とすることができる。なお、意図的にはいずれの不純物も添加されていない領域は

真性（I型）となっている。I型の不純物濃度は $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以下である。

[0056] また、例えば、半導体基板1の厚みを $150 \mu\text{m}$ ($80 \mu\text{m} \sim 350 \mu\text{m}$)、下部クラッド層2の厚みを $2 \times 10^3 \text{nm}$ ($1 \times 10^3 \text{nm} \sim 3 \times 10^3 \text{nm}$)、下部光ガイド層3の厚みを 150nm ($0 \sim 300 \text{nm}$)、活性層4の厚みを 30nm ($10 \text{nm} \sim 100 \text{nm}$)、上部光ガイド層5の下層の厚みを 50nm ($10 \text{nm} \sim 100 \text{nm}$)、上層の厚みを 50nm ($10 \text{nm} \sim 200 \text{nm}$)、回折格子層6の厚みを 100nm ($50 \text{nm} \sim 200 \text{nm}$)、上部クラッド層7の厚みを $2 \times 10^3 \text{nm}$ ($1 \times 10^3 \text{nm} \sim 3 \times 10^3 \text{nm}$)、コンタクト層8の厚みを 200nm ($50 \text{nm} \sim 500 \text{nm}$)とすることができる。なお、括弧内は好適値である。

[0057] また、クラッド層のエネルギーバンドギャップは、光ガイド層のエネルギーバンドギャップよりも大きく、光ガイド層のエネルギーバンドギャップは活性層4の井戸層のエネルギーバンドギャップよりも大きく設定されている。AlGaAsにおいては、Alの組成比を変更することで、容易にエネルギーバンドギャップと屈折率を変えることができる。Al_xGa_{1-x}Asにおいて、相対的に原子半径の小さなAlの組成比Xを減少（増加）させると、これと正の相関にあるエネルギーバンドギャップは小さく（大きく）なり、GaAsに原子半径の大きなInを混入させてInGaAsとすると、エネルギーバンドギャップは小さくなる。すなわち、クラッド層のAl組成比は、光ガイド層のAl組成比よりも大きく、光ガイド層のAl組成比は、活性層の障壁層（AlGaAs）と同等か大きい。クラッド層のAl組成比は0.2～0.4に設定され、本例では0.3とする。光ガイド層及び活性層における障壁層のAl組成比は0.1～0.15に設定され、本例では0.1とする。なお、ガイド層には電子の活性層からのリークを抑制するために、第2導電型(p型)クラッド層との間にクラッド層と同等のAl組成で10～100nm程度の層を挿入しても良い。

[0058] なお、回折格子層6における柱状の異屈折率領域を空隙とし、空気、窒素

又はアルゴン等の気体が封入されてもよい。また、回折格子層6においては、XY平面内における正方格子又は三角格子の格子点位置に異屈折率領域6Bが配置されている。この正方格子における縦及び横の格子線の間隔は、レーザ光の波長を等価屈折率で除算した程度であり、具体的には300nm程度に設定されることが好ましい。正方格子の格子点位置でなく、三角格子における格子点位置に異屈折率領域を配置することもできる。三角格子の場合の横及び斜めの格子線の間隔は、波長を等価屈折率で除算し、さらに $\sin 60^\circ$ で除算した程度であり、具体的には350nm程度に設定されることが好ましい。

[0059] なお、格子間隔aの正方格子の場合、直交座標の単位ベクトルをx、yとすると、基本並進ベクトル $a_1 = ax$ 、 $a_2 = ay$ であり、基本並進ベクトル a_1 、 a_2 に対する基本逆格子ベクトル $b_1 = (2\pi/a)y$ 、 $b_2 = (2\pi/a)x$ である。フォトリック結晶のフォトリックバンドにおけるΓ点、すなわち、波数ベクトル $k = nb_1 + mb_2$ （n、mは任意の整数）の場合に、格子間隔aが波長λに等しい共振モード（XY平面内における定在波）が得られる。

[0060] また、上述の共通電極及び画素電極は、これらが透明である場合には、ITO、又は、ZnOからなる。このような材料は、レーザ光に対して透明であり、レーザ光が透過できる。

[0061] また、上述の反射膜23は、アルミニウムなど金属の単層膜或いは多層膜ミラーからなり、多層膜ミラーは、高屈折率材料層（=nHとする）と、これに対して相対的に低い屈折率を有する低屈折率材料層（=nLとする）とを交互に積層してなる。高屈折率材料層（nH）の材料は、 Ta_2O_5 、 TiO_2 、 Nb_2O_5 及び HfO_2 等からなる酸化物群（絶縁体群）から選択される少なくとも1つの材料（例えば Ta_2O_5 ）を含む。低屈折率材料層（nL）の材料は、 SiO_2 及び MgF_2 等からなる絶縁体群から選択される少なくとも1つの材料（例えば SiO_2 ）を含む。高屈折率材料層（nH）及び低屈折率材料層（nL）のそれぞれの光学膜厚を、レーザ光の波長λの $1/4$ に設定

する。これらの誘電体層の積層構造としては、以下の種類が考えられる。

[0062] (1) : 第1の構造は、低屈折率材料層 (n_L) と高屈折材料層 (n_H) とからなる組 (= A) を、 m 回、繰り返して積層した構造であり、この場合、全体の層数は $2 \times A \times m$ となる。 m は自然数である。なお、最も下側の層を低屈折率材料層 (n_L) とする。

[0063] (2) : 第2の構造は、前述の組 (A) を、 m 回、繰り返して積層した後に、最表面に位置する高屈折材料層 (n_H) 上に更に低屈折率材料層 (n_L) を積層した構造であり、この場合、全体の層数は $2 \times A \times m + 1$ となる。

[0064] (3) : 上述の (1) 又は (2) の構造において、高屈折率材料層 (n_H) と低屈折材料層 (n_L) の位置を入れ替えた構造も採用することができる。(3) の構造の場合、最も下側の層は高屈折率材料層 (n_H) となる。

[0065] 最後に、上述の半導体レーザ素子について簡単に説明する。

[0066] 半導体レーザ素子の製造においては、各化合物半導体層は、有機金属気相成長 (MOCVD) 法を用いる。半導体基板1の (001) 面上に結晶成長を行うが、これに限られるものではない。AlGaAsを用いたレーザ素子の製造においては、AlGaAsの成長温度は $500^{\circ}\text{C} \sim 850^{\circ}\text{C}$ であって、実験では $550 \sim 700^{\circ}\text{C}$ を採用し、成長時におけるAl原料としてTMA (トリメチルアルミニウム)、ガリウム原料としてTMG (トリメチルガリウム) およびTEG (トリエチルガリウム)、As原料としてはAsH₃ (アルシン)、N型不純物用の原料としてSi₂H₆ (ジシラン)、P型不純物用の原料としてDEZn (ジエチル亜鉛) を用いる。AlGaAsの成長においては、TMA、TMG、アルシンを用い、GaAsの成長においては、TMGとアルシンを用いるが、TMAは用いない。InGaAsは、TMGとTMI (トリメチルインジウム) とアルシンを用いて製造する。絶縁膜の形成は、その構成物質を原料としてターゲットをスパッタして形成すればよい。

[0067] すなわち、半導体レーザ素子は、まず、N型の半導体基板 (GaAs) 1上に、N型のクラッド層 (AlGaAs) 2を形成した後、光ガイド層 (AlGaAs) 3、多重量子井戸構造 (InGaAs / AlGaAs) 4、光

ガイド層（GaAs/AaGaAs）5を形成し、続いて、フォトリソグラフィ結晶層となる基本層（GaAs）6Aを、MOCVD（有機金属気相成長）法を用いて順次、エピタキシャル成長させる。

[0068] 次に、エピタキシャル成長後のアライメントをとるため、PCVD（プラズマCVD）法により、SiN層を基本層6A上に形成し、次に、レジストを、SiN層上に形成する。更に、レジストを露光・現像し、レジストをマスクとしてSiN層をエッチングし、SiN層を一部残留させて、アライメントマークを形成する。残ったレジストは除去する。

[0069] 次に、基本層6Aに別のレジストを塗布し、アライメントマークを基準とし、レジスト上に電子ビーム描画装置で2次元微細パターンを描画し、現像することでレジスト上に2次元微細パターンを形成する。その後、レジストをマスクとして、ドライエッチングにより100nm程度の深さを持つ2次元微細パターンを基本層6A上に転写し、孔（穴）を形成し、レジストを除去する。孔の深さは、100nmである。この孔の中に、異屈折率領域6B（AlGaAs）となる化合物半導体を孔の深さ以上に再成長させる。次に、上部クラッド層（AlGaAs）7、コンタクト層（GaAs）8を順次MOCVDで形成し、適当な電極材料を蒸着法又はスパッタ法で基板の上下面に形成して第1及び第2電極を形成する。また、必要に応じて、基板の上下面に絶縁膜をスパッタ法等で形成することができる。

[0070] 回折格子層6を活性層の下部に備える場合には、活性層及び下部光ガイド層の形成前に、下部クラッド層上に回折格子層を形成すればよい。

[0071] 図2の構造の場合には、半導体基板1上に絶縁膜9を介して1/4波長板26を配置し、コンタクト層8の表面に偏光板27を配置する。なお、半導体基板1に駆動電極E3を形成する場合、フォトリソグラフィ法を用いて、半導体基板1上にパターンニングを行う。

[0072] 以上、説明したように、上述の装置によれば、活性層で生じた光は回折格子層による変調を受け、2次元単一モード発振し、発振した光のうち一部は、回折格子層による2次の回折を受け、液晶層に平面波として入射している

。液晶は屈折率異方性を有するため、その回転角に応じて光出力と平行な方向の等価的な屈折率が変化する。このとき、液晶層の物理的な長さは一定であるため、屈折率が変化することにより、光路長が変化する。従って、下部から液晶層に平面波を入射すると、画素毎にその光路長を変化させることが出来る。言い換えると、下部から液晶層に平面波を入射すると、画素毎にその位相を変化させることが出来るので、出射波面の形状を制御することが可能となる。このように、2次元単一モード発振するレーザ光は、平面波として液晶層に入射し、画素毎に位相変調された波面が下部から光出力として得られる。

[0073] 次に、駆動電極E 3について説明する。

[0074] 図3は、駆動電極E 3の平面図である。

[0075] 駆動電極E 3は、XY平面内において第1の方向に沿って直線的に延びた複数の導電領域（黒色の領域）を備え、導電領域のX軸方向の幅を X_e とし、導電領域間のX軸方向の間隔を X_s とし、Nを整数として、X軸方向に沿ってN番目に位置する前記導電領域の幅 X_e を $X_e(N)$ とし、X軸方向に沿ってN番目に位置する間隔 X_s を $X_s(N)$ とした場合、幅 X_e には周期性がなく、 $X_e(N)$ と $X_e(N+1)$ は異なり、間隔 X_s には周期性がなく、 $X_s(N)$ と $X_s(N+1)$ は異なる。

[0076] なお、同図では、 $N=1\sim 8$ とした場合の幅 $X_e(1)\sim X_e(8)$ が示され、間隔 $X_s(1)\sim X_s(7)$ が示されているが、便宜上、各導電領域は幅と同一符号で示すこととする。例えば、隣接する導電領域（ $X_e(1)$ と $X_e(2)$ ）の間には、隙間となる間隔 $X_s(1)$ （ $N=1$ ， $N+2=2$ ）が位置している。

[0077] 本例では、導電領域の幅 X_e が周期性を有していないため、これにより反射されるレーザ光が干渉してノイズ光が発生することが抑制され、開口を規定する導電領域間の間隔 X_s が周期性を有していないため、開口を透過したレーザ光が干渉してノイズ光が発生することが抑制される。

[0078] なお、各導電領域の長手方向は、Y軸方向であり、Y軸方向に沿って延び

ている。

[0079] 同図では、直線的に導電領域が延びているので、作製が簡単であり、且つ開口率を大きく出来るという利点がある。

[0080] 図4は、駆動電極E3の平面図である。

[0081] 半導体レーザチップのXY平面内における形状は長方形であり、長方形の一辺に平行な方向をY軸とした場合、駆動電極の延びた方向（第1の方向R）とY軸との成す角度 β は、図3の場合は 0° であるが、図4の場合は、図3と同様に駆動電極は直線状のストライプ形状であるが、 $\beta \neq n \times 90^\circ$ （ n ：任意の整数）を満たしている。 $\beta = n \times 90^\circ$ （ n ：任意の整数）の場合、作製が容易という効果があるが、基本的に β は任意の角度に設定出来る。

[0082] 図5は、駆動電極E3の平面図である。

[0083] 半導体レーザチップのXY平面内における形状は長方形であり、長方形の一辺に平行な方向をY軸とした場合、駆動電極の延びた方向（第1の方向R）とY軸との成す角度 β は、図5の場合は、図3と同様に駆動電極は直線状のストライプ形状であるが、 $\beta \neq n \times 90^\circ$ （ n ：任意の整数）を満たしている。

[0084] 上述の通り、 β は基本的に任意の角度に設定可能である。

[0085] 図6は、駆動電極E3の平面図である。

[0086] 駆動電極E3は、XY平面内において二次元的に位置する複数の開口を構成するように、第1の方向（本例ではY軸）に沿って延びた複数の第1導電領域（ $X_{e1}(1) \sim X_{e1}(8)$ ）と、第1の方向とは異なる第2の方向（本例ではX軸）に沿って延びた複数の第2導電領域（ $Y_{e1}(1) \sim Y_{e1}(8)$ ）とが重畳した形状を有している。

[0087] 第1導電領域のX軸方向の幅を X_{e1} とし、第1導電領域間のX軸方向の間隔を X_{s1} とし、 N を整数として、X軸方向に沿って N 番目に位置する第1導電領域の幅 X_{e1} を $X_{e1}(N)$ とし、X軸方向に沿って N 番目に位置する間隔 X_{s1} を $X_{s1}(N)$ とする。幅 X_{e1} には周期性がなく、 $X_{e1}(N)$ と $X_{e1}(N+1)$ は異なり、間隔 X_{s1} には周期性がなく、 $X_{s1}($

N) と $X_{s1}(N+1)$ は異なる。

[0088] 同様に、第2導電領域のY軸方向の幅を Y_{e1} とし、第2導電領域間のY軸方向の間隔を Y_{s1} とし、 N を整数として、Y軸方向に沿って N 番目に位置する第2導電領域の幅 Y_{e1} を $Y_{e1}(N)$ とし、Y軸方向に沿って N 番目に位置する間隔 Y_{s1} を $Y_{s1}(N)$ とする。幅 Y_{e1} には周期性がなく、 $Y_{e1}(N)$ と $Y_{e1}(N+1)$ は異なり、間隔 Y_{s1} には周期性がなく、 $Y_{s1}(N)$ と $Y_{s1}(N+1)$ は異なる。

[0089] この場合も、上記と同様のノイズ光抑制効果があり、且つ、第2導電領域が存在するため、駆動電極の全体としての抵抗を低下させ、効率的に駆動電流を活性層に供給することができる。

[0090] なお、各導電領域は、直線的に延びることも、曲線的に延びることもできる。

[0091] 図7は、駆動電極E3の平面図である。

[0092] 駆動電極E3は、XY平面内において二次元的に位置する複数の開口を構成するように、第1の方向（本例ではY軸）に沿って直線的に延びた複数の第1導電領域（ $X_{e1}(N)$ ）と、第1の方向とは異なる第2の方向（Y軸と角度 β を成す方向R）に沿って直線的に延びた複数の第2導電領域（ $X_{e2}(N)$ ）とが重畳した形状を有している。

[0093] 第1導電領域のX軸方向の幅を X_{e1} とし、第1導電領域間のX軸方向の間隔を X_{s1} とし、 N を整数として、X軸方向に沿って N 番目に位置する第1導電領域の幅 X_{e1} を $X_{e1}(N)$ とし、X軸方向に沿って N 番目に位置する間隔 X_{s1} を $X_{s1}(N)$ とする。幅 X_{e1} には周期性がなく、 $X_{e1}(N)$ と $X_{e1}(N+1)$ は異なり、間隔 X_{s1} には周期性がなく、 $X_{s1}(N)$ と $X_{s1}(N+1)$ は異なる。

[0094] 同様に、第2導電領域のX軸方向の幅を X_{e2} とし、第2導電領域間のX軸方向の間隔を X_{s2} とし、 N を整数として、X軸方向に沿って N 番目に位置する第2導電領域の幅 X_{e2} を $X_{e2}(N)$ とし、X軸方向に沿って N 番目に位置する間隔 X_{s2} を $X_{s2}(N)$ とする。幅 X_{e2} には周期性がなく、

$X_{e2}(N)$ と $X_{e2}(N+1)$ は異なり、間隔 X_{s2} には周期性がなく、
 $X_{s2}(N)$ と $X_{s2}(N+1)$ は異なる。

[0095] この場合も、上記と同様のノイズ光抑制効果があり、且つ、第2導電領域が存在するため、駆動電極の全体としての抵抗を低下させ、効率的に駆動電流を活性層に供給することができる。

[0096] 図8は、駆動電極E3の平面図である。

[0097] 駆動電極E3は、XY平面内において二次元的に位置する複数の開口を構成するように、第1の方向（本例ではY軸と β_1 を成す方向 R_1 ）に沿って直線的に延びた複数の第1導電領域（ $X_{e1}(N)$ ）と、第1の方向とは異なる第2の方向（Y軸と角度 β_2 を成す方向 R_2 ）に沿って直線的に延びた複数の第2導電領域（ $X_{e2}(N)$ ）とが重畳した形状を有している。

[0098] 第1導電領域のX軸方向の幅を X_{e1} とし、第1導電領域間のX軸方向の間隔を X_{s1} とし、Nを整数として、X軸方向に沿ってN番目に位置する第1導電領域の幅 X_{e1} を $X_{e1}(N)$ とし、X軸方向に沿ってN番目に位置する間隔 X_{s1} を $X_{s1}(N)$ とする。幅 X_{e1} には周期性がなく、 $X_{e1}(N)$ と $X_{e1}(N+1)$ は異なり、間隔 X_{s1} には周期性がなく、 $X_{s1}(N)$ と $X_{s1}(N+1)$ は異なる。

[0099] 同様に、第2導電領域のX軸方向の幅を X_{e2} とし、第2導電領域間のX軸方向の間隔を X_{s2} とし、Nを整数として、X軸方向に沿ってN番目に位置する第2導電領域の幅 X_{e2} を $X_{e2}(N)$ とし、X軸方向に沿ってN番目に位置する間隔 X_{s2} を $X_{s2}(N)$ とする。幅 X_{e2} には周期性がなく、 $X_{e2}(N)$ と $X_{e2}(N+1)$ は異なり、間隔 X_{s2} には周期性がなく、 $X_{s2}(N)$ と $X_{s2}(N+1)$ は異なる。

[0100] この場合も、上記と同様のノイズ光抑制効果があり、且つ、第2導電領域が存在するため、駆動電極の全体としての抵抗を低下させ、効率的に駆動電流を活性層に供給することができる。

[0101] 図9は、駆動電極E3の平面図である。

[0102] 本例では、図6に示した第1導電領域が弧状となり、隣接するもの同士の

曲率半径も異なることとしたものであり、その他の点は、図6と同一である。すなわち、第1導電領域（ $X \in 1(N)$ ）及び第2導電領域（ $Y \in 1(N)$ ）の一方が、弧を描くように延びている。これらは、双方が弧を描くように延びていてもよい。

[0103] この場合、導電領域が直線的に延びる場合に比較して、導電領域間の規則性が更に低下するため、駆動電極の構造の非周期性・ランダム性が向上してノイズ光が更に抑制され、また、その形状は、滑らかな連続的方向変化である弧状であるため、形状の急激な変化に起因する高調波ノイズ光も発生しにくいという利点がある。

[0104] 図10は、駆動電極E3の平面図である。

[0105] 本例は、図9に示したものと比較して、縦方向に延びていた第1導電領域が、Y軸に対して概ね斜め方向に延びたものであり、その他の点は、図9と同一である。この場合、図9に示したものと同様の作用効果があり、また、Y軸方向に沿った各第1導電領域の両端位置がX軸方向に沿ってずれている。

[0106] 図11は、駆動電極E3の平面図である。

[0107] 本例は、図8に示したものと比較して、直線的に延びていた各第1導電領域及び第2領域が、それぞれ曲率半径の異なる弧状としたものであり、隣接する導電領域の曲率半径及び幅及び間隔は、全て異なる。その他の点は、図8と同一である。この場合、図8に示したものと同様の作用効果があり、弧を描いているため、導電領域が直線的に延びる場合に比較して、導電領域間の規則性が更に低下するため、駆動電極の構造の非周期性・ランダム性が向上してノイズ光が更に抑制され、また、その形状は、滑らかな連続的方向変化である弧状であるため、形状の急激な変化に起因する高調波ノイズ光も発生しにくいという利点がある。

[0108] 図12は、駆動電極E3の平面図である。

[0109] 半導体レーザ装置において、駆動電極E3は、XY平面内において二次元的に位置する複数の開口を構成するように、第1の方向（Y軸方向）に沿っ

て延びた複数の第1導電領域と、第1の方向とは異なる第2の方向（本例ではY軸と $\beta 1$ を成す方向R1）に沿って延びた複数の第2導電領域と、第1の方向及び第2の方向のいずれとも異なる第3の方向（本例ではY軸と $\beta 2$ を成す方向R2）に沿って延びた複数の第3導電領域とが重畳した形状を有している。同図では、各導電領域は、直線的に延びている。

[0110] すなわち、幾つかの方向に延びた導電領域によって囲まれることで、上記開口が構成されるが、導電領域の延びる方向は、3つ以上であってもよい。より多くの方向に導電領域が延びた場合には、ランダム性が高くなるため、ノイズ光の発生が更に抑制されると考えられる。

[0111] 図13は、駆動電極E3の平面図である。

[0112] 半導体レーザ装置において、駆動電極E3は、XY平面内において二次元的に位置する複数の開口を構成するように、第1の方向（Y軸方向）に沿って延びた複数の第1導電領域と、第1の方向とは異なる第2の方向（本例ではY軸と $\beta 1$ を成す方向R1）に沿って延びた複数の第2導電領域と、第1の方向及び第2の方向のいずれとも異なる第3の方向（本例ではY軸と $\beta 2$ を成す方向R2）に沿って延びた複数の第3導電領域とが重畳した形状を有している。同図では、第2の導電領域は、おおむね方向R2に沿っているものの、直線的ではなく、弧を描くように延びており、開口の規則性が低下し、ノイズ光の発生が更に抑制されると考えられる。

[0113] 図14は、駆動電極E3の平面図である。

[0114] 半導体レーザ装置において、駆動電極E3は、XY平面内において二次元的に位置する複数の開口を構成するように、第1の方向（本例ではX軸）に沿って延びた複数の第1導電領域と、第1の方向とは異なる第2の方向（本例ではX軸と $\alpha 1$ を成す方向R1）に沿って延びた複数の第2導電領域と、第1の方向及び第2の方向のいずれとも異なる第3の方向（本例ではX軸と $\alpha 2$ を成す方向R2）に沿って延びた複数の第3導電領域とが重畳した形状を有している。同図では、全ての導電領域は、直線的ではなく、弧を描くように延びており、開口の規則性が低下し、ノイズ光の発生が更に抑制される

と考えられる。

[0115] 図 1 5 は、駆動電極 E 3 の平面図である。

[0116] 駆動電極 E 3 が設けられる領域は、第 1 の非周期性構造を有する導電領域が形成される第 1 領域 A 1 と、第 1 の非周期性構造とは異なる第 2 の非周期性構造を有する導電領域が形成される第 2 領域 A 2 とを備えている。第 1 領域 A 1 と第 2 領域 A 2 とはパターンが異なるので、これらの領域からのレーザー光が全体として干渉して、ノイズ光が発生することが抑制される。第 1 領域 A 1 は Y 軸方向の値が所定値以上の領域であり、第 2 領域 A 2 は Y 軸方向の値が所定値未満の領域であり、これらの領域は上下に位置している。所定値は、駆動電極形成領域の Y 軸方向の寸法の中央値から外れている方が、干渉抑制のための非対称性の面からは好ましいが、中央値であってもよい。

[0117] 図 1 6 は、駆動電極 E 3 の平面図である。図 1 5 の第 1 領域 A 1 及び第 2 領域 A 2 には、上述の様々なパターンを配置することができる。すなわち、本例は第 1 領域 A 1 に図 4 のパターンを配置し、第 2 領域 A 2 に図 5 の左右反転パターンを配置した例である。

[0118] 図 1 7 は、駆動電極 E 3 の平面図である。これは第 1 領域 A 1 に図 6 のパターンを配置し、第 2 領域 A 2 に図 7 のパターンを配置した例である。

[0119] 図 1 8 は、駆動電極 E 3 の平面図である。

[0120] 駆動電極 E 3 が設けられる領域は、第 1 の非周期性構造を有する導電領域が形成される第 1 領域 A 1 と、第 1 の非周期性構造とは異なる第 2 の非周期性構造を有する導電領域が形成される第 2 領域 A 2 とを備えている。第 1 領域 A 1 と第 2 領域 A 2 とはパターンが異なるので、これらの領域からのレーザー光が全体として干渉して、ノイズ光が発生することが抑制される。第 1 領域 A 1 は X 軸方向の値が所定値未満の領域であり、第 2 領域 A 2 は X 軸方向の値が所定値以上の領域であり、これらの領域は左右に位置している。所定値は、駆動電極形成領域の X 軸方向の寸法の中央値に位置していても、外れていてもよい。

[0121] 図 1 9 は、駆動電極 E 3 の平面図である。図 1 8 の第 1 領域 A 1 及び第 2

領域 A 2 には、上述の様々なパターンを配置することができる。すなわち、本例は第 1 領域 A 1 に図 9 のパターンを配置し、第 2 領域 A 2 に図 10 のパターンを配置した例である。

[0122] 図 20 は、駆動電極 E 3 の平面図である。

[0123] 駆動電極 E 3 が設けられる領域は、第 1 の非周期性構造を有する導電領域が形成される第 1 領域 A 1 と、第 1 の非周期性構造とは異なる第 2 の非周期性構造を有する導電領域が形成される第 2 領域 A 2 と、第 1 及び第 2 の非周期性構造のいずれとも異なる第 3 の非周期性構造を有する導電領域が形成される第 3 領域 A 3 とを備えている。第 1 領域 A 1、第 2 領域 A 2、第 3 領域 A 3 はパターンが異なるので、これらの領域からのレーザ光が全体として干渉して、ノイズ光が発生することが抑制される。第 1 領域 A 1 は Y 軸方向の値が第 1 所定値以上の領域であり、第 2 領域 A 2 は Y 軸方向の値が第 2 所定値以上第 1 所定値未満の領域であり、第 3 領域 A 3 は Y 軸方向の値が第 1 所定値未満の領域である。これらの領域は上下に整列して位置している。

[0124] 図 21 は、駆動電極 E 3 の平面図である。図 21 の第 1 領域 A 1 及び第 2 領域 A 2 には、上述の様々なパターンを配置することができる。すなわち、本例は第 1 領域 A 1 に図 13 のパターンを配置し、第 2 領域 A 2 に図 6 のパターンを配置し、第 3 領域 A 3 に図 12 のパターンを配置した例である。

[0125] 以上、説明したように、いずれの半導体レーザ装置においても、駆動電極が非周期構造を有するため、ノイズ光を低減可能であり、また、空間光変調器に結合することで、変化可能な所望のレーザビームパターンを形成することができる。

符号の説明

[0126] S L M…空間光変調器、L D C…半導体レーザチップ、4…活性層、2, 7…クラッド層、6…回折格子層。

請求の範囲

[請求項1] 半導体レーザチップ及びこの半導体レーザチップに光学的に結合した空間光変調器を備え、前記半導体レーザチップの厚み方向に沿って出力されたレーザ光を、前記空間光変調器で変調して、外部に出力する半導体レーザ装置であって、

 前記半導体レーザチップは、

 活性層と、

 前記活性層を挟む一对のクラッド層と、

 前記活性層に光学的に結合した回折格子層と、

 前記空間光変調器側の前記クラッド層と前記空間光変調器との間に配置され、前記活性層に電流を供給するための駆動電極と、

 を備え、

XYZ 三次元直交座標系を設定し、

 前記半導体レーザチップの厚み方向を Z 軸方向とし、

 前記半導体レーザチップと前記空間光変調器との界面に平行な平面を XY 平面とした場合、

 前記駆動電極は、 XY 平面内に位置し、

 前記駆動電極は、 Z 軸方向から見て、複数の開口を有しており、

 前記駆動電極は、非周期構造を有している、

 ことを特徴とする半導体レーザ装置。

[請求項2] 前記駆動電極は、 XY 平面内において第1の方向に沿って直線的に延びた複数の導電領域を備え、

 前記導電領域の X 軸方向の幅を X_e とし、

 前記導電領域間の X 軸方向の間隔を X_s とし、

N を整数として、

X 軸方向に沿って N 番目に位置する前記導電領域の幅 X_e を $X_e(N)$ とし、

X 軸方向に沿って N 番目に位置する間隔 X_s を $X_s(N)$ とした場

合、

幅 X_e には周期性がなく、 $X_e(N)$ と $X_e(N+1)$ は異なり、
間隔 X_s には周期性がなく、 $X_s(N)$ と $X_s(N+1)$ は異なる

、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ装置。

[請求項3]

前記駆動電極は、

XY 平面内において二次元的に位置する複数の開口を構成するよう
に、

第 1 の方向に沿って延びた複数の第 1 導電領域と、

前記第 1 の方向とは異なる第 2 の方向に沿って延びた複数の第 2 導
電領域と、が重畳した形状を有しており、

前記第 1 導電領域の X 軸方向の幅を X_{e1} とし、

前記第 1 導電領域間の X 軸方向の間隔を X_{s1} とし、

N を整数として、

X 軸方向に沿って N 番目に位置する前記第 1 導電領域の幅 X_{e1} を
 $X_{e1}(N)$ とし、

X 軸方向に沿って N 番目に位置する間隔 X_{s1} を $X_{s1}(N)$ とし
た場合、

幅 X_{e1} には周期性がなく、 $X_{e1}(N)$ と $X_{e1}(N+1)$ は異
なり、

間隔 X_{s1} には周期性がなく、 $X_{s1}(N)$ と $X_{s1}(N+1)$ は
異なる、ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ装置。

[請求項4]

前記第 1 導電領域及び前記第 2 導電領域の双方又はいずれか一方は
、弧を描くように延びていることを特徴とする請求項 3 に記載の半導
体レーザ装置。

[請求項5]

前記駆動電極は、

XY 平面内において二次元的に位置する複数の開口を構成するよう
に、

第 1 の方向に沿って延びた複数の第 1 導電領域と、

前記第 1 の方向とは異なる第 2 の方向に沿って延びた複数の第 2 導電領域と、

前記第 1 の方向及び前記第 2 の方向のいずれとも異なる第 3 の方向に沿って延びた複数の第 3 導電領域と、が重畳した形状を有している、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ装置。

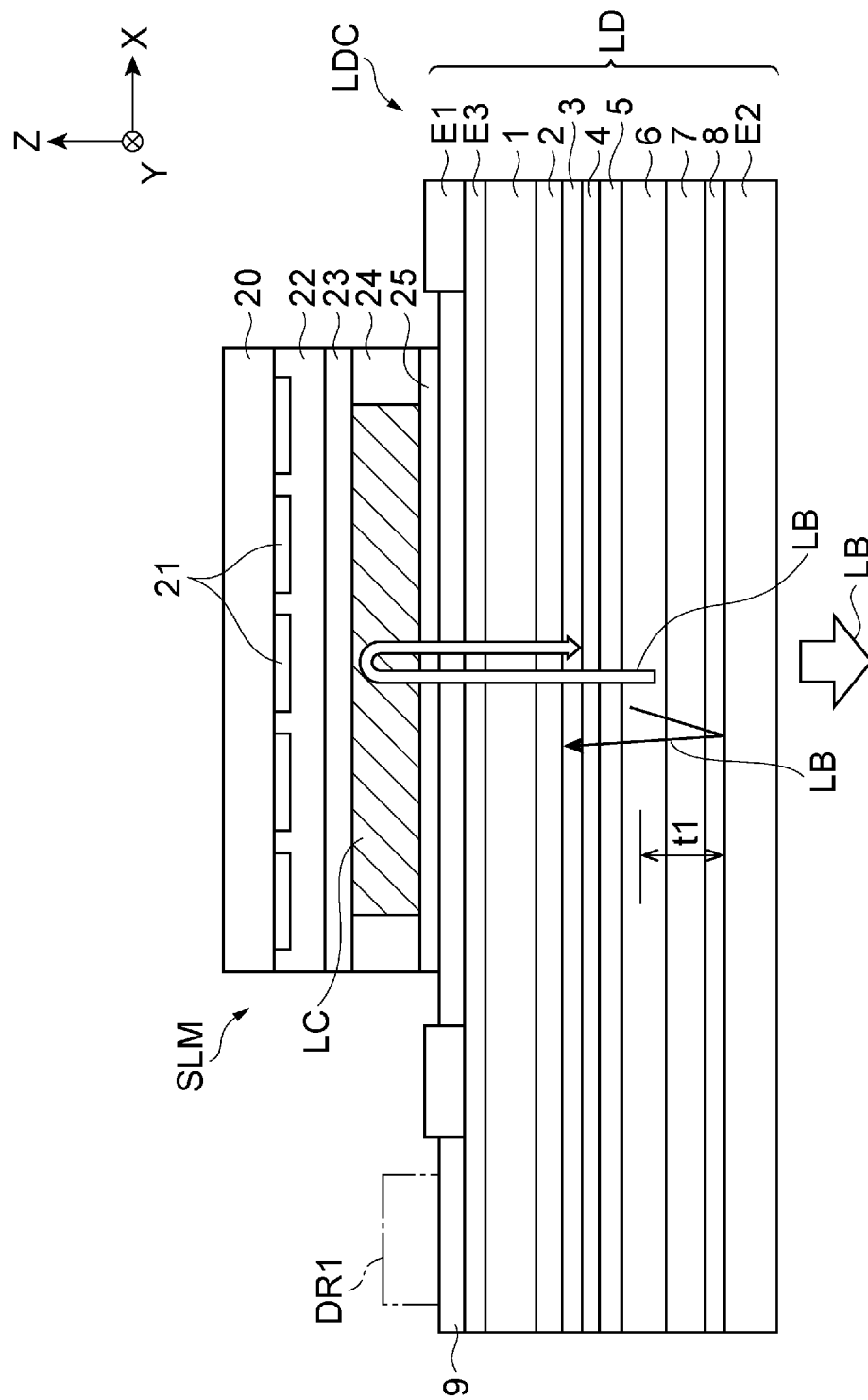
[請求項 6]

前記駆動電極が設けられる領域は、

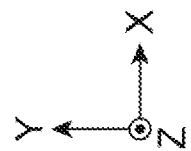
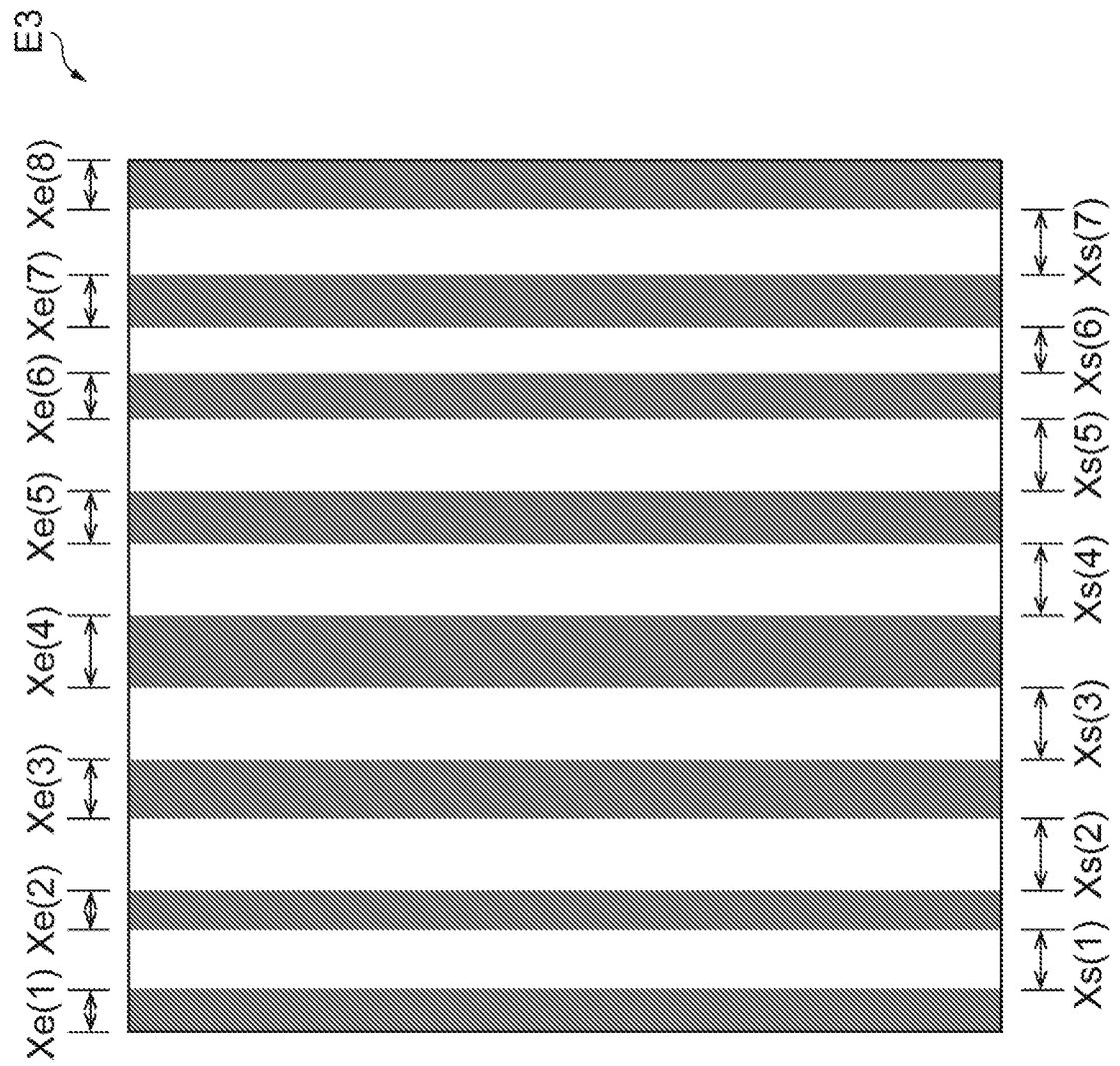
第 1 の非周期性構造を有する導電領域が形成される第 1 領域と、

第 1 の非周期性構造とは異なる第 2 の非周期性構造を有する導電領域が形成される第 2 領域と、を備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ装置。

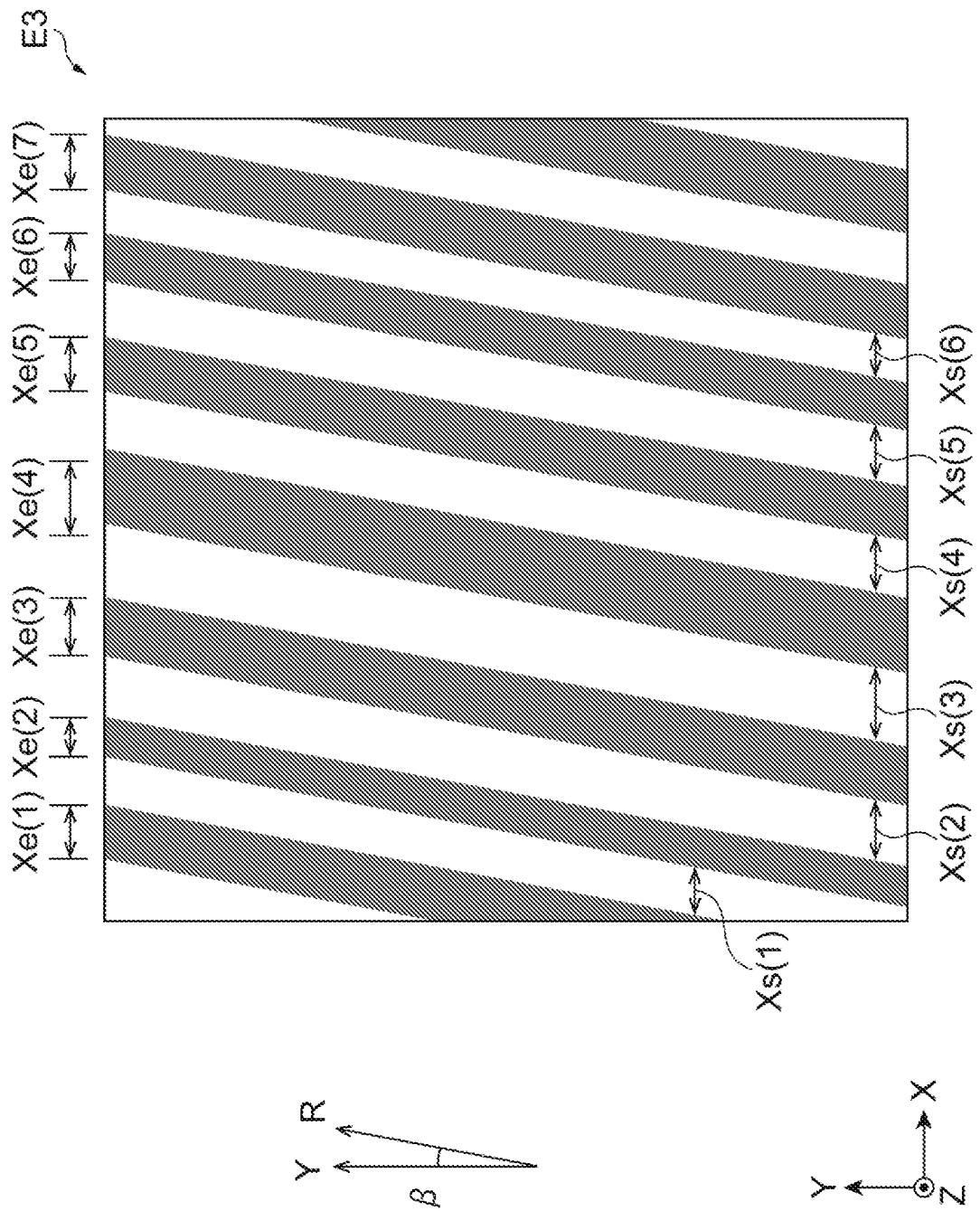
[図1]



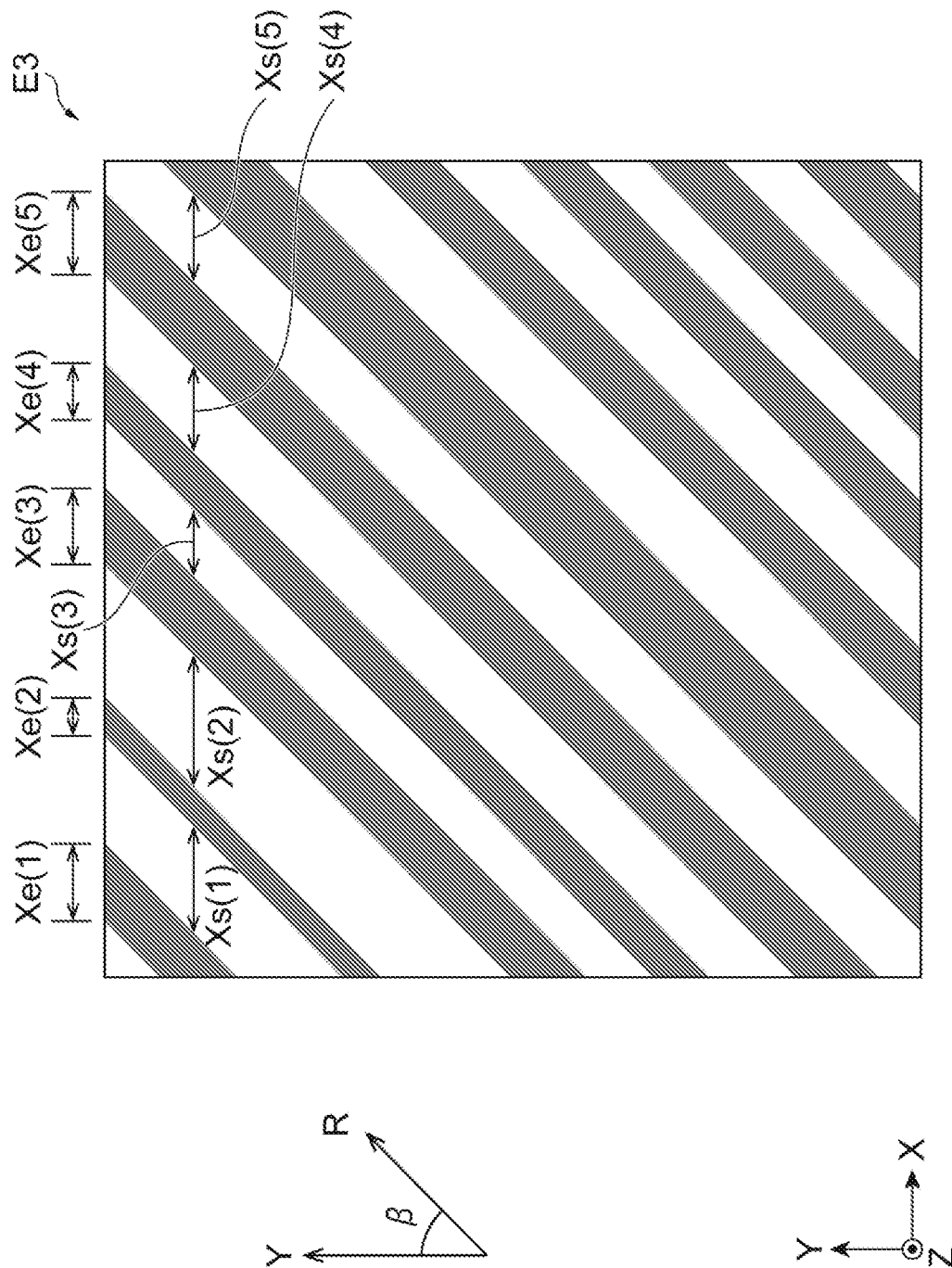
[図3]



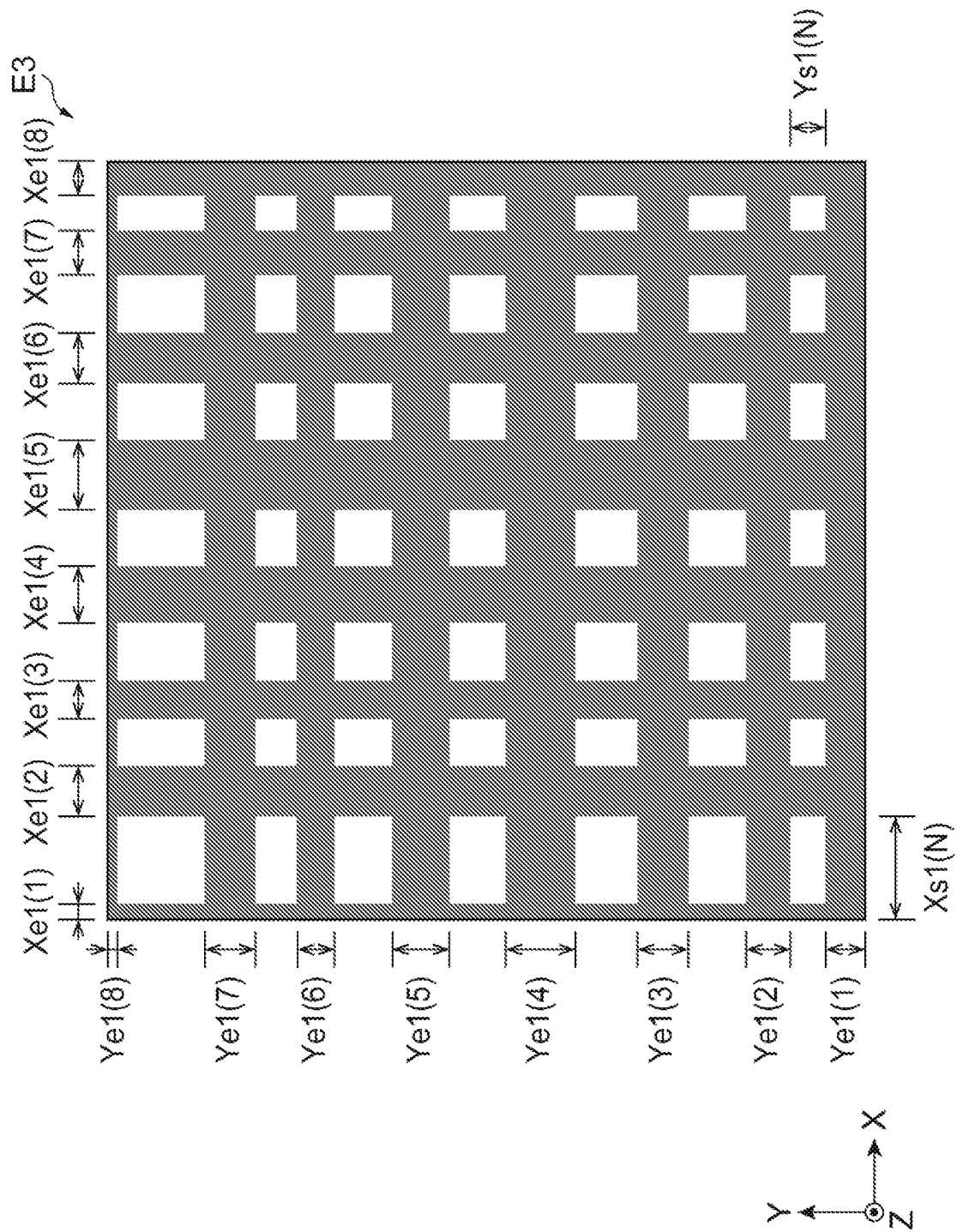
[図4]



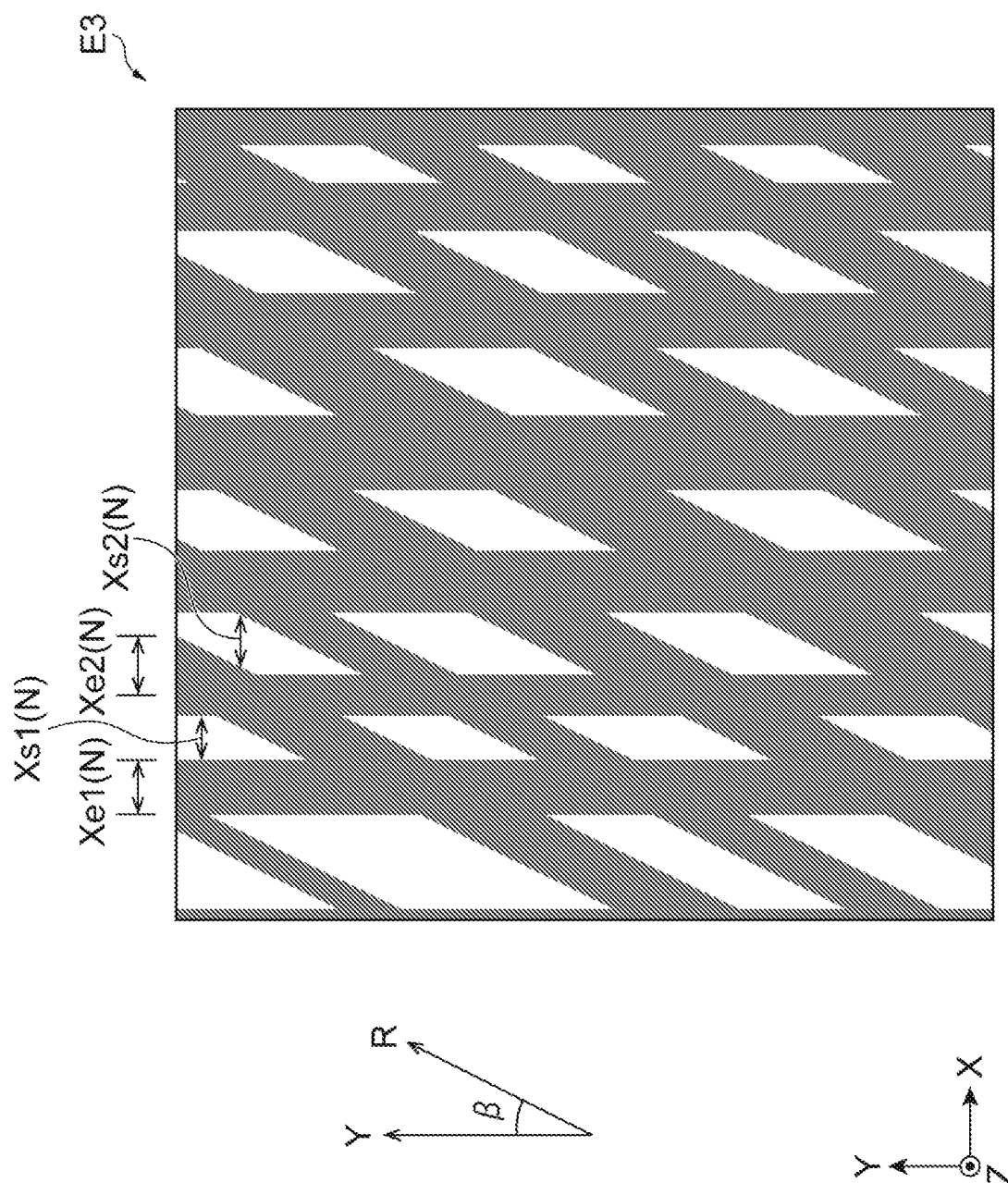
[図5]



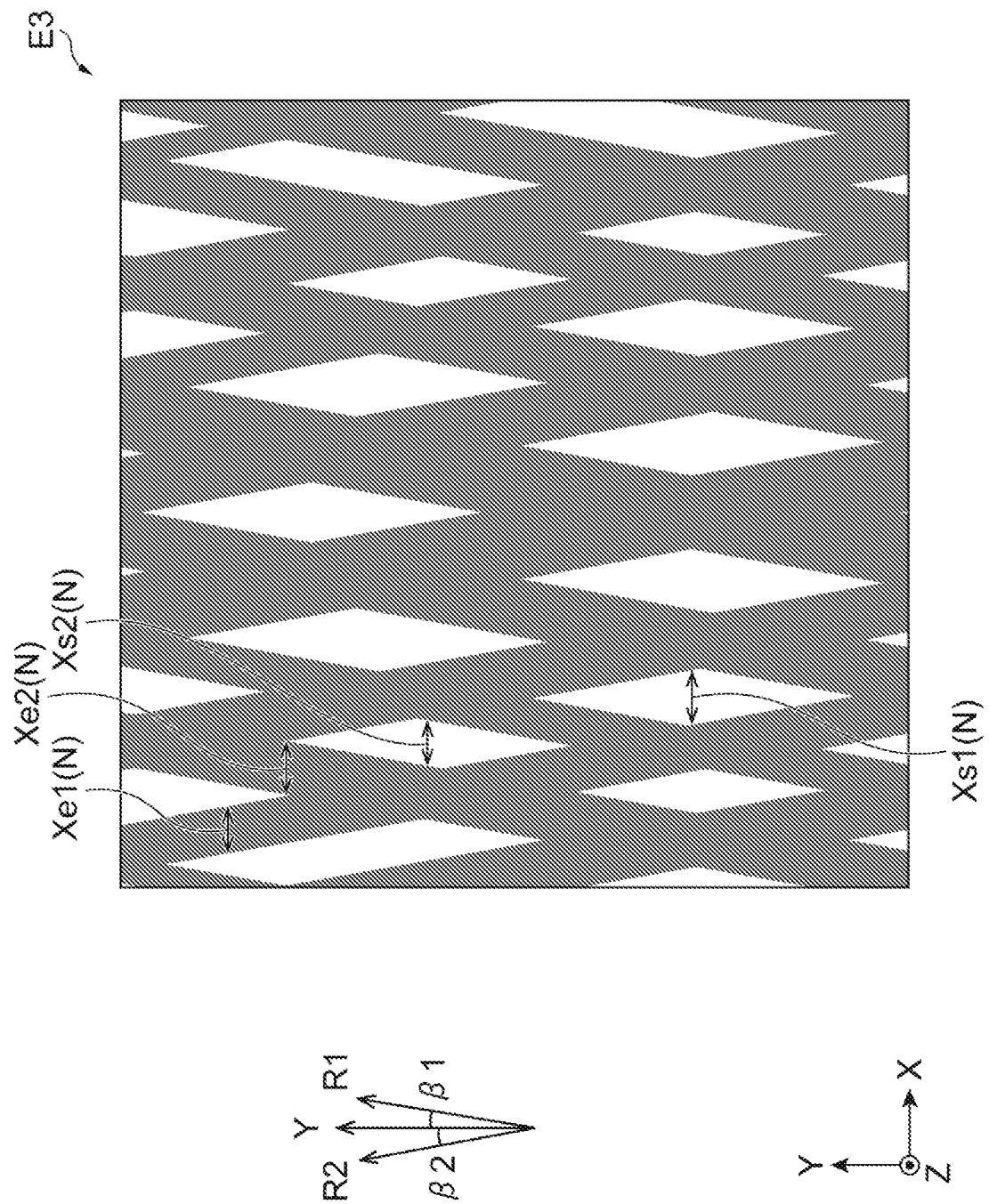
[図6]



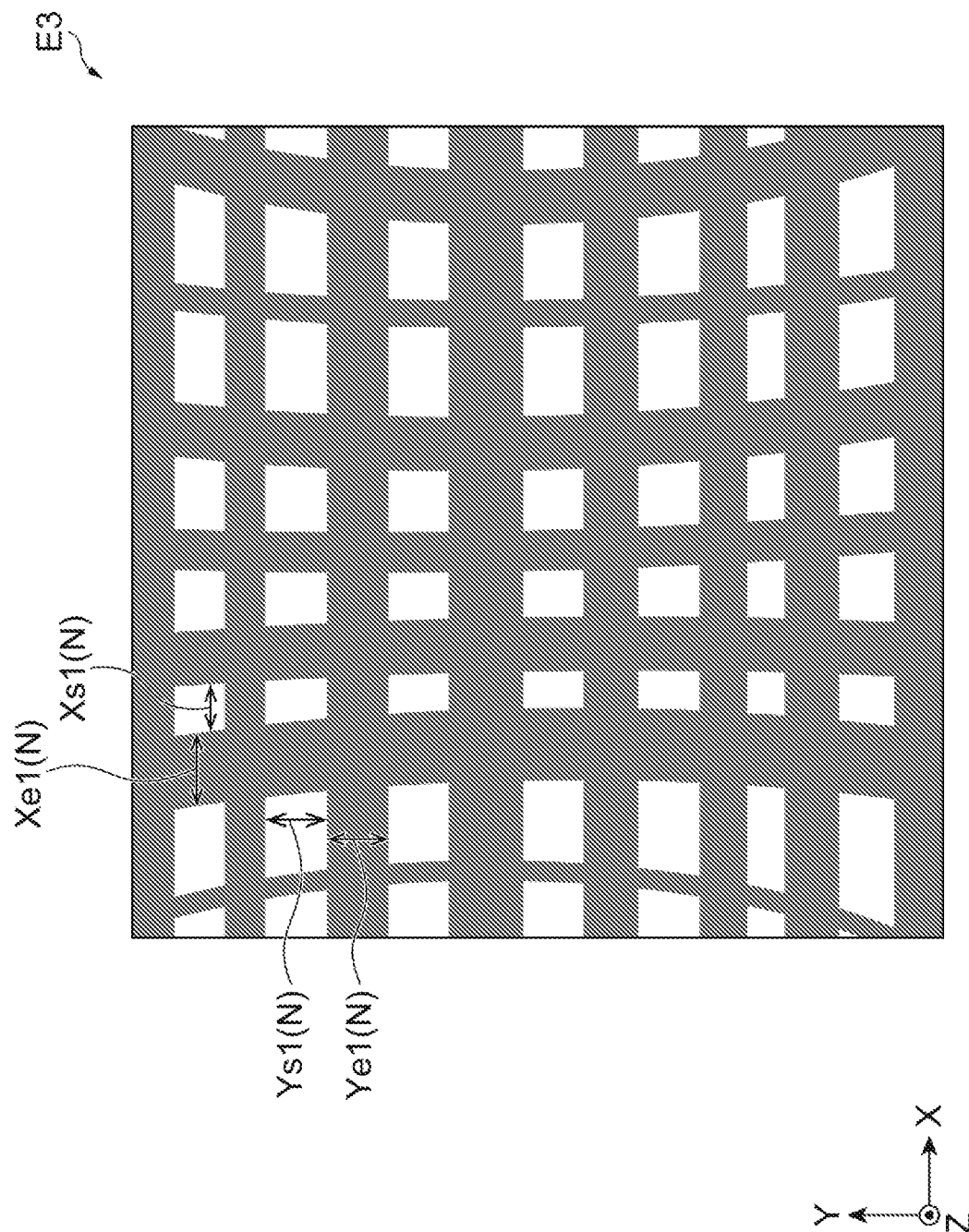
[図7]



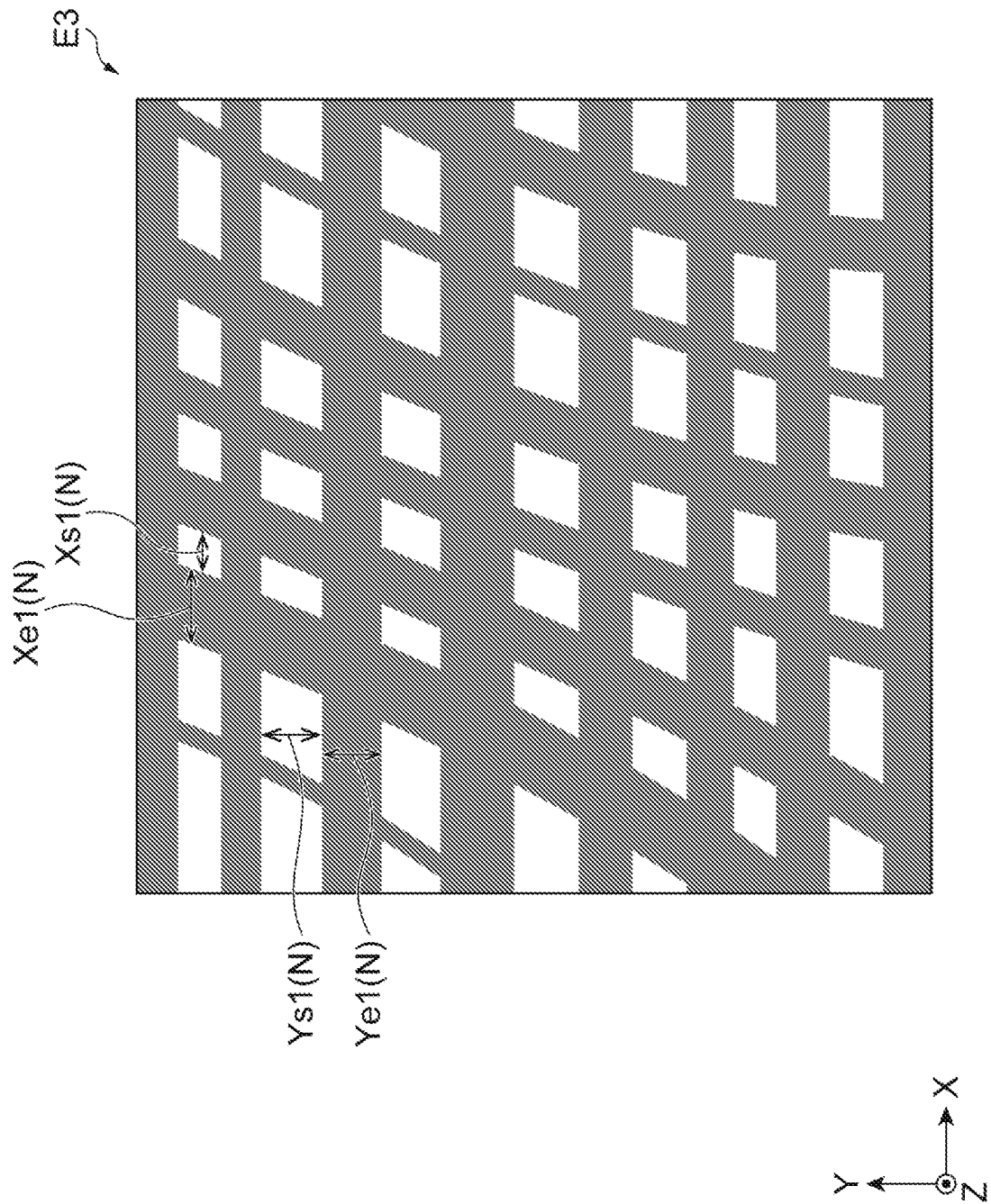
[図8]



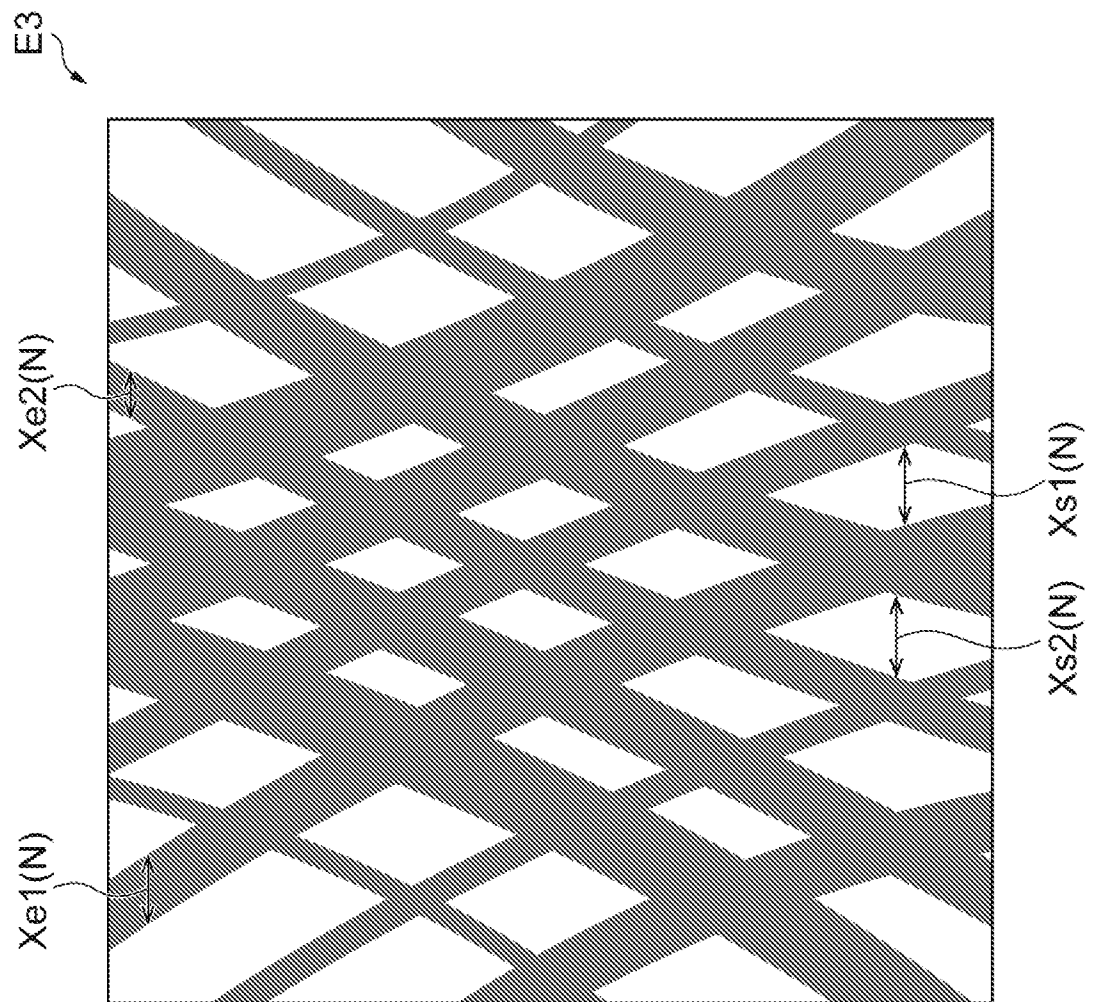
[図9]



[図10]

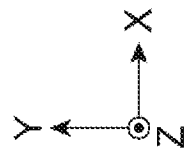
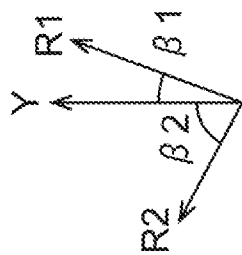
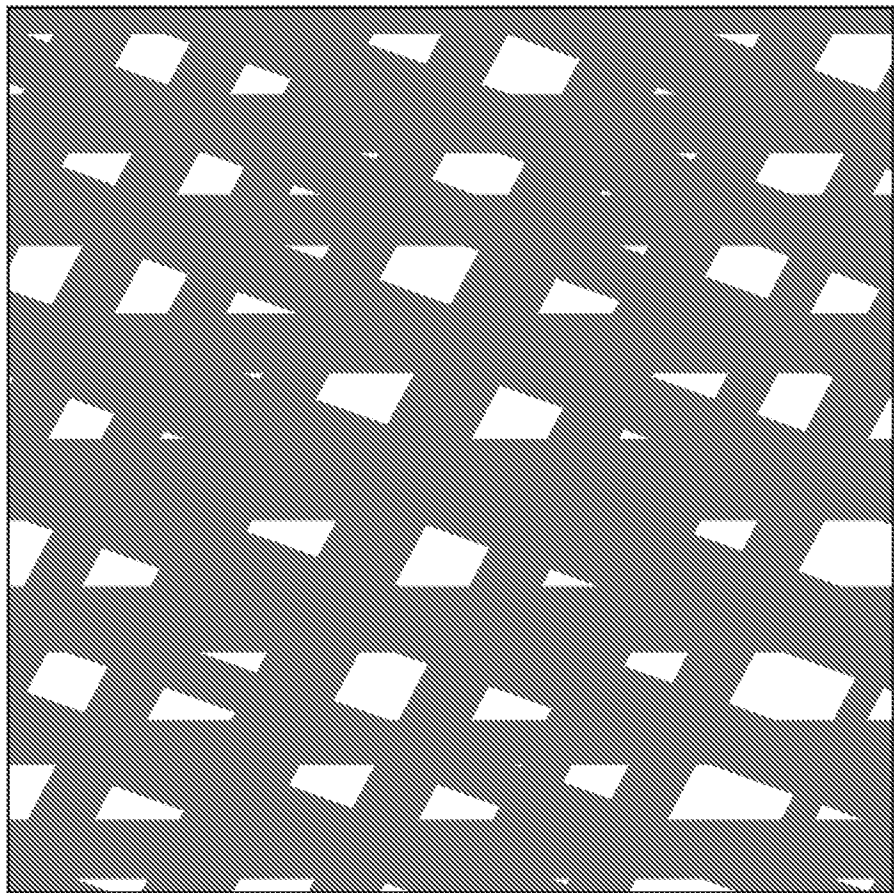


[図11]

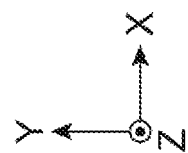
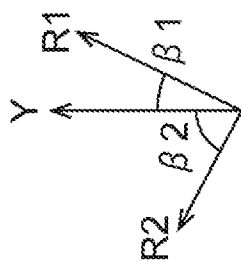
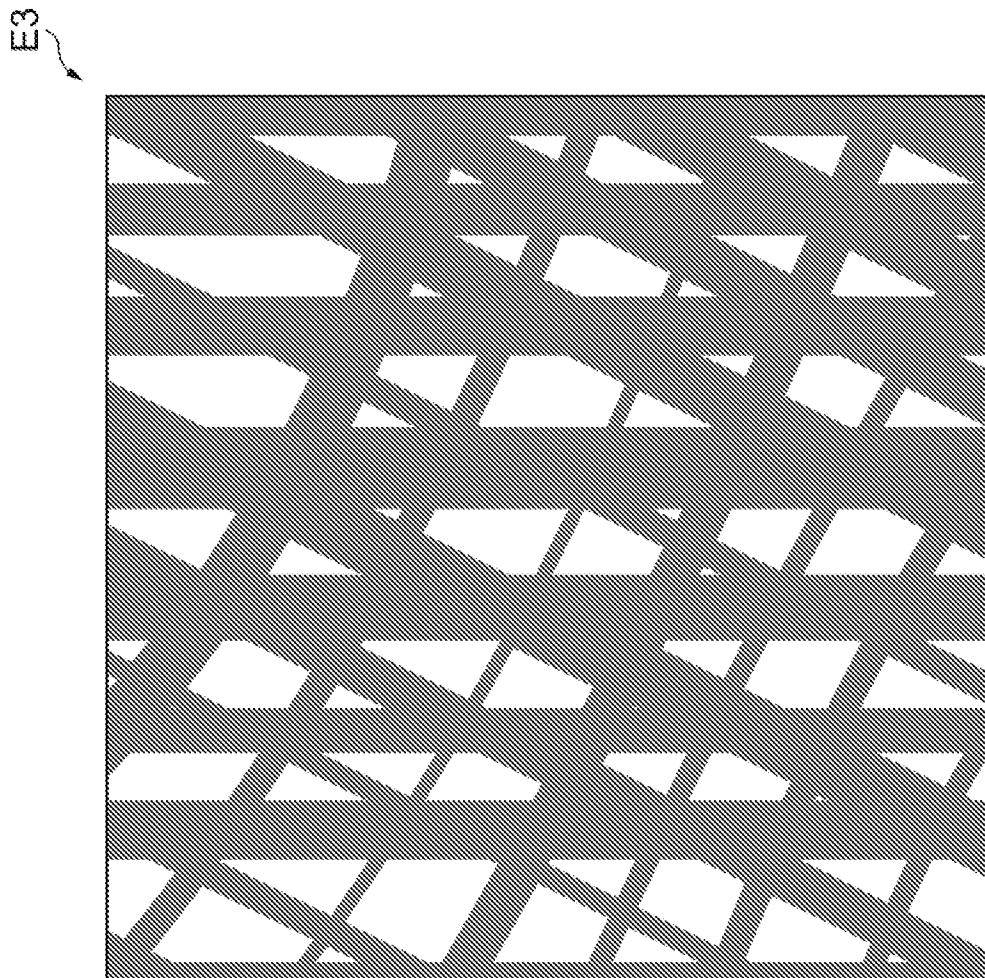


[図12]

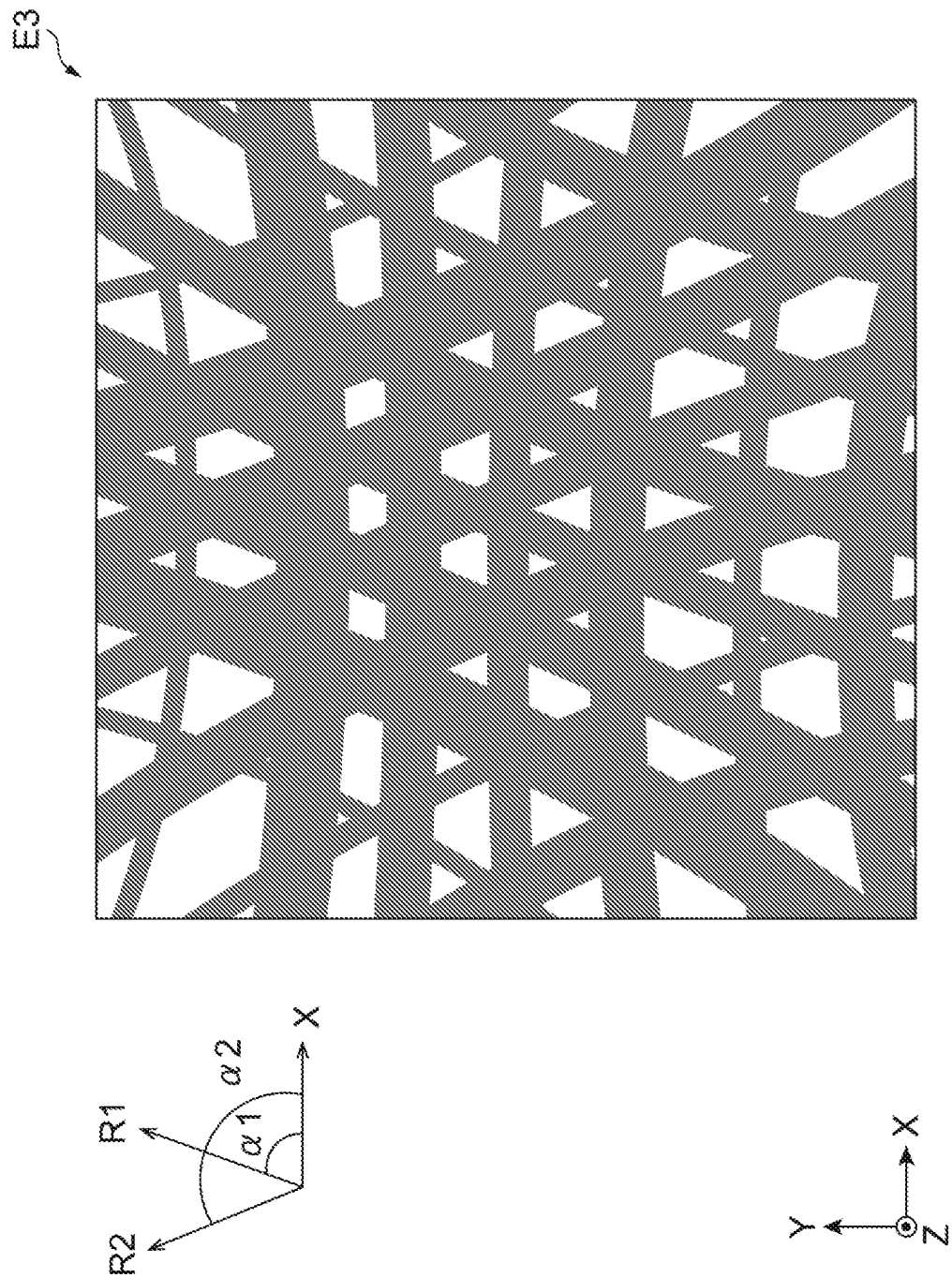
E3



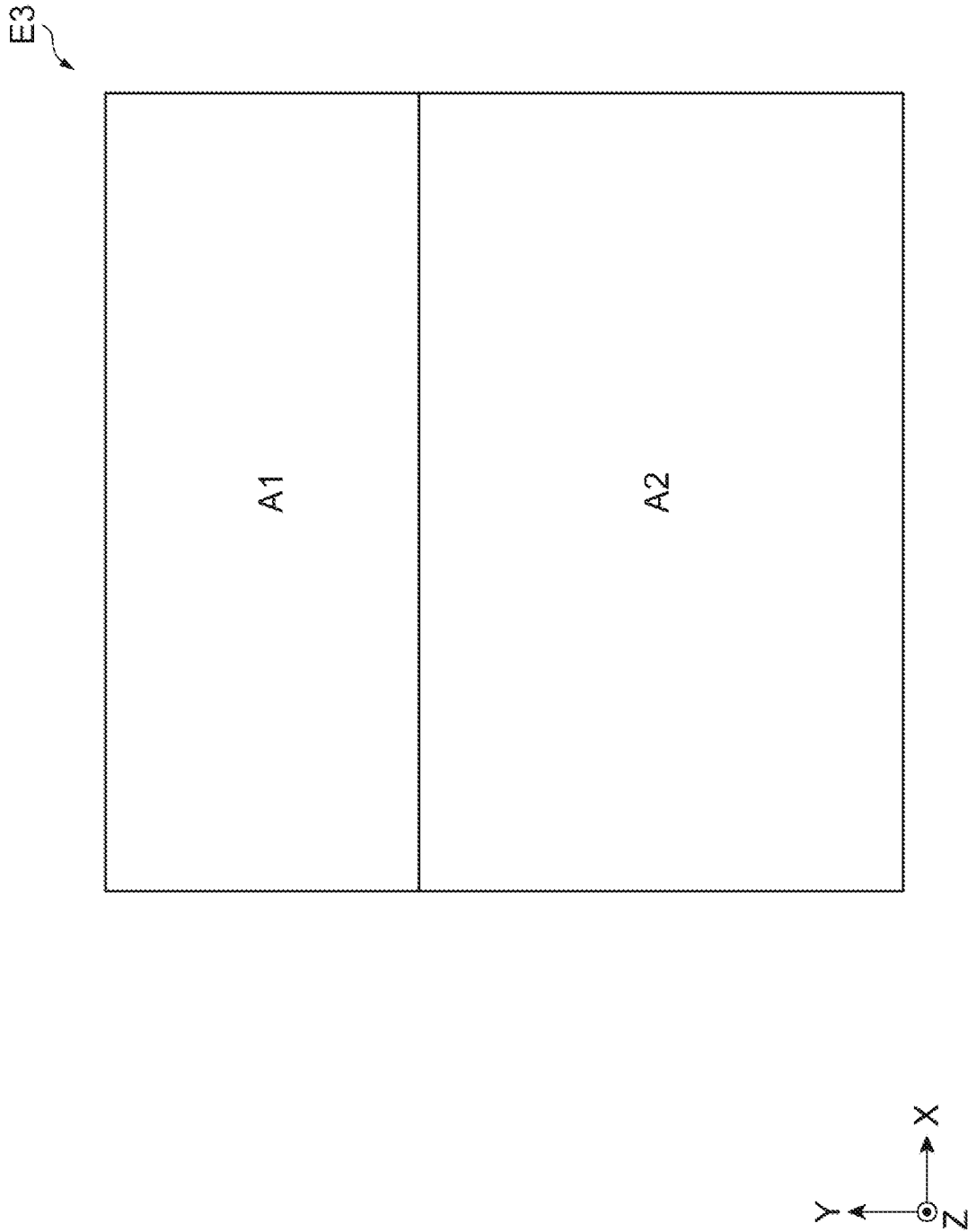
[図13]



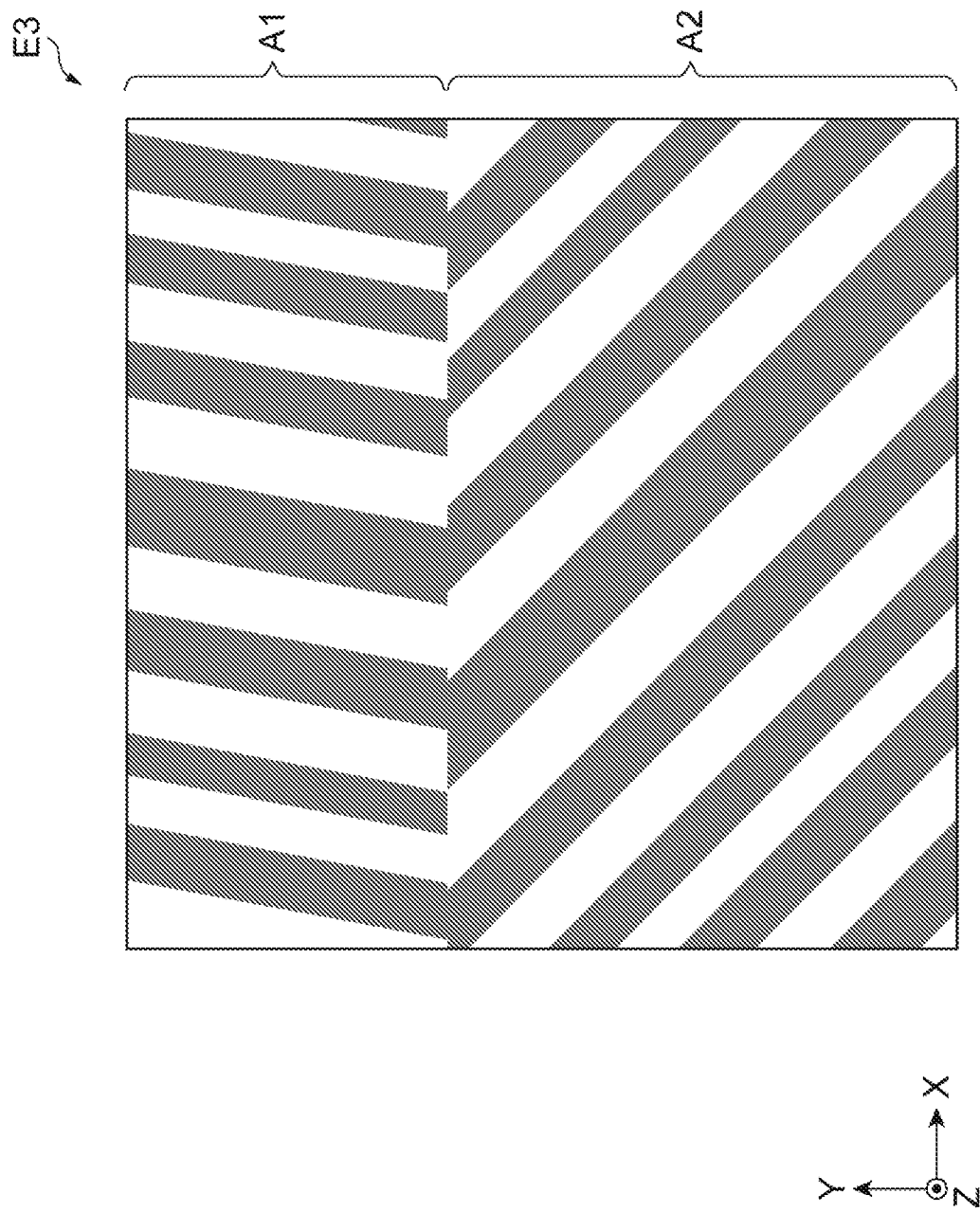
[図14]



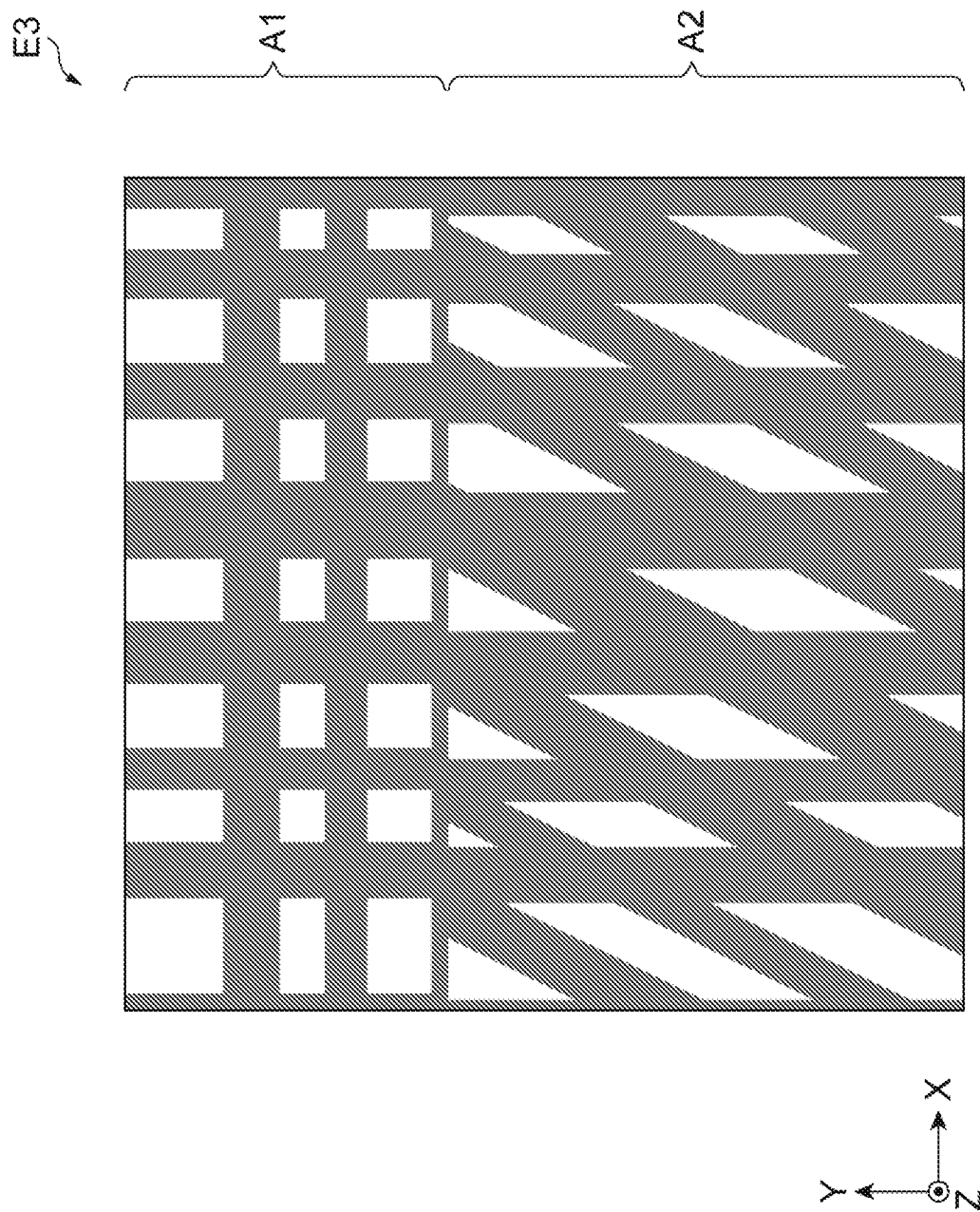
[図15]



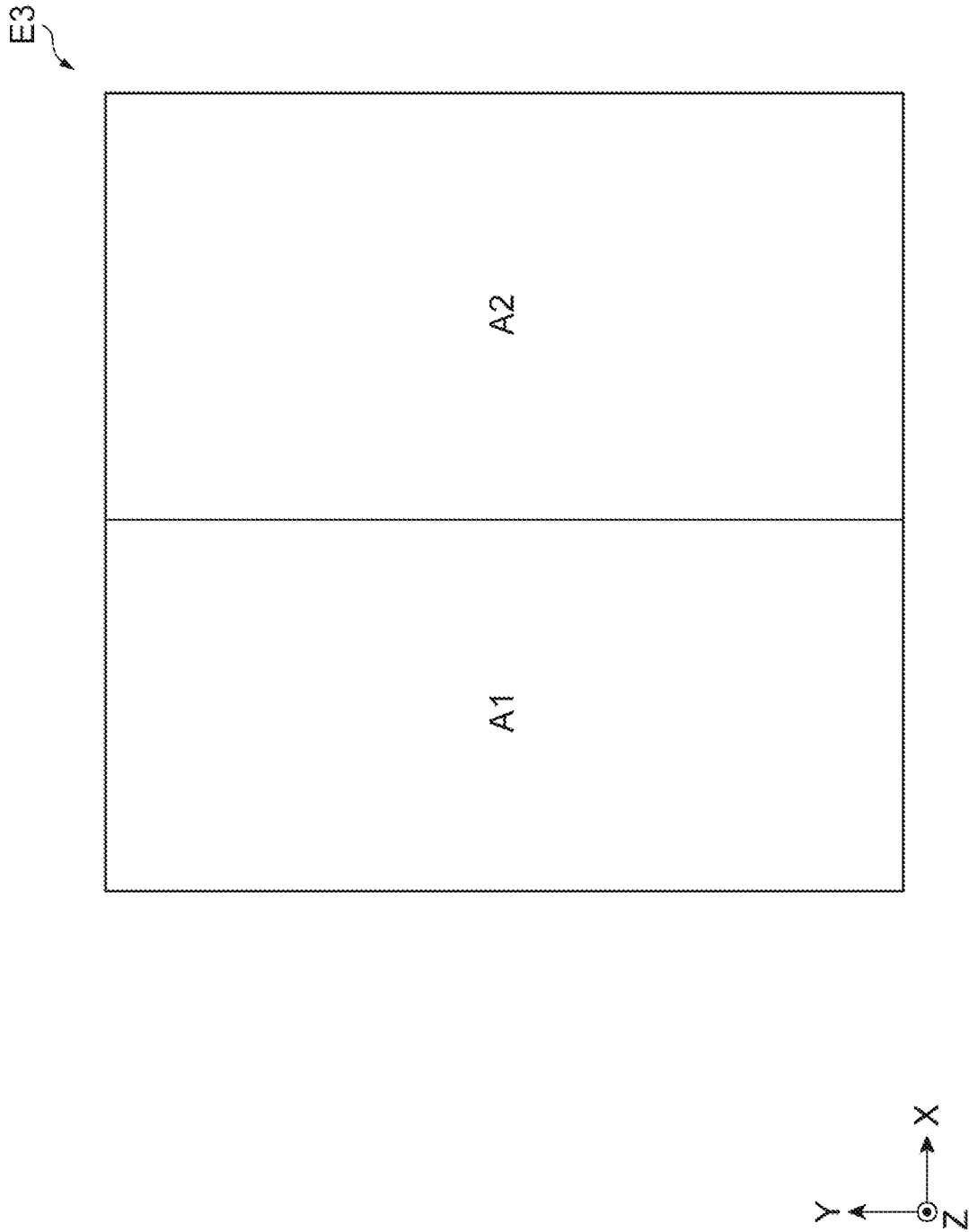
[図16]



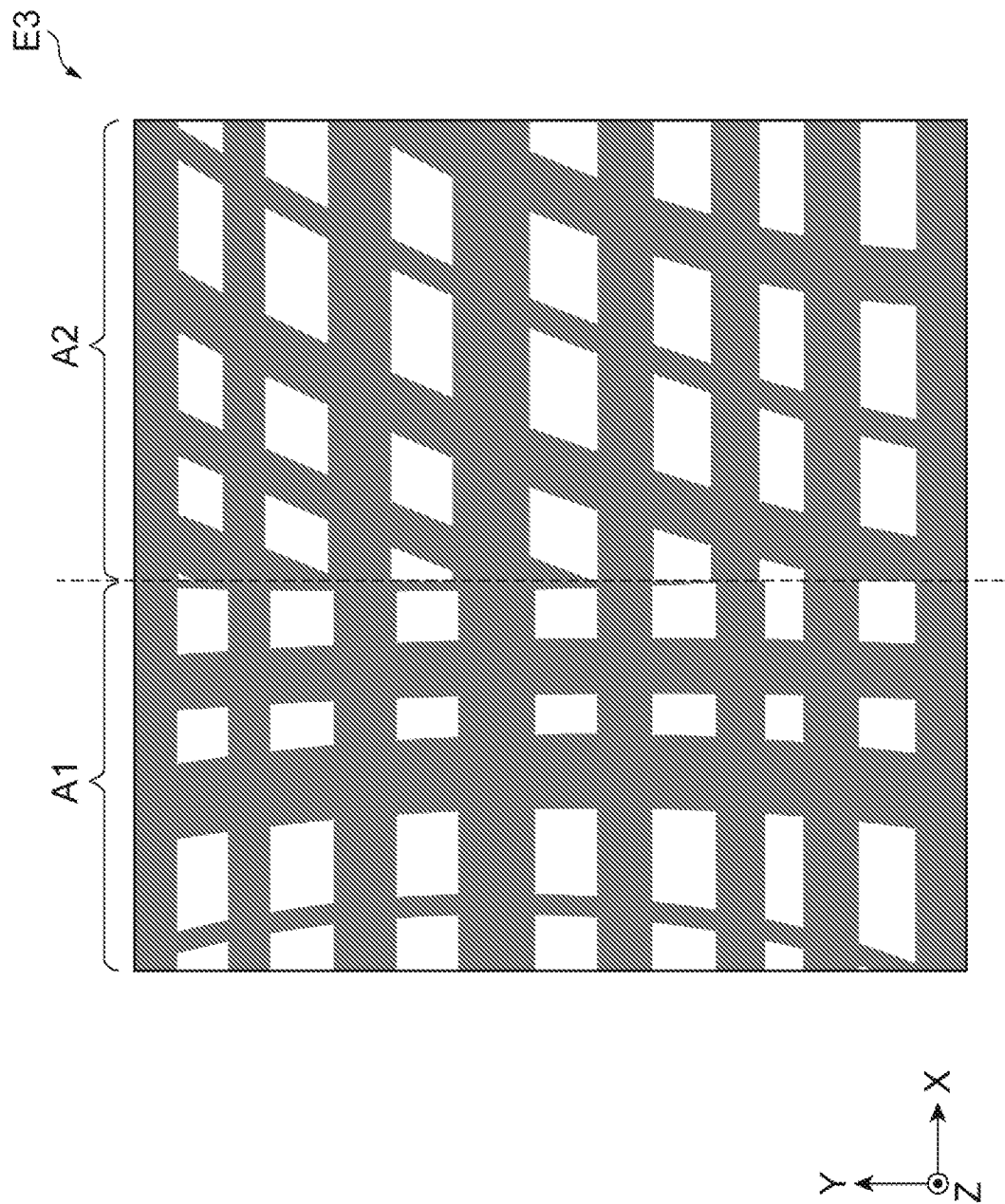
[図17]



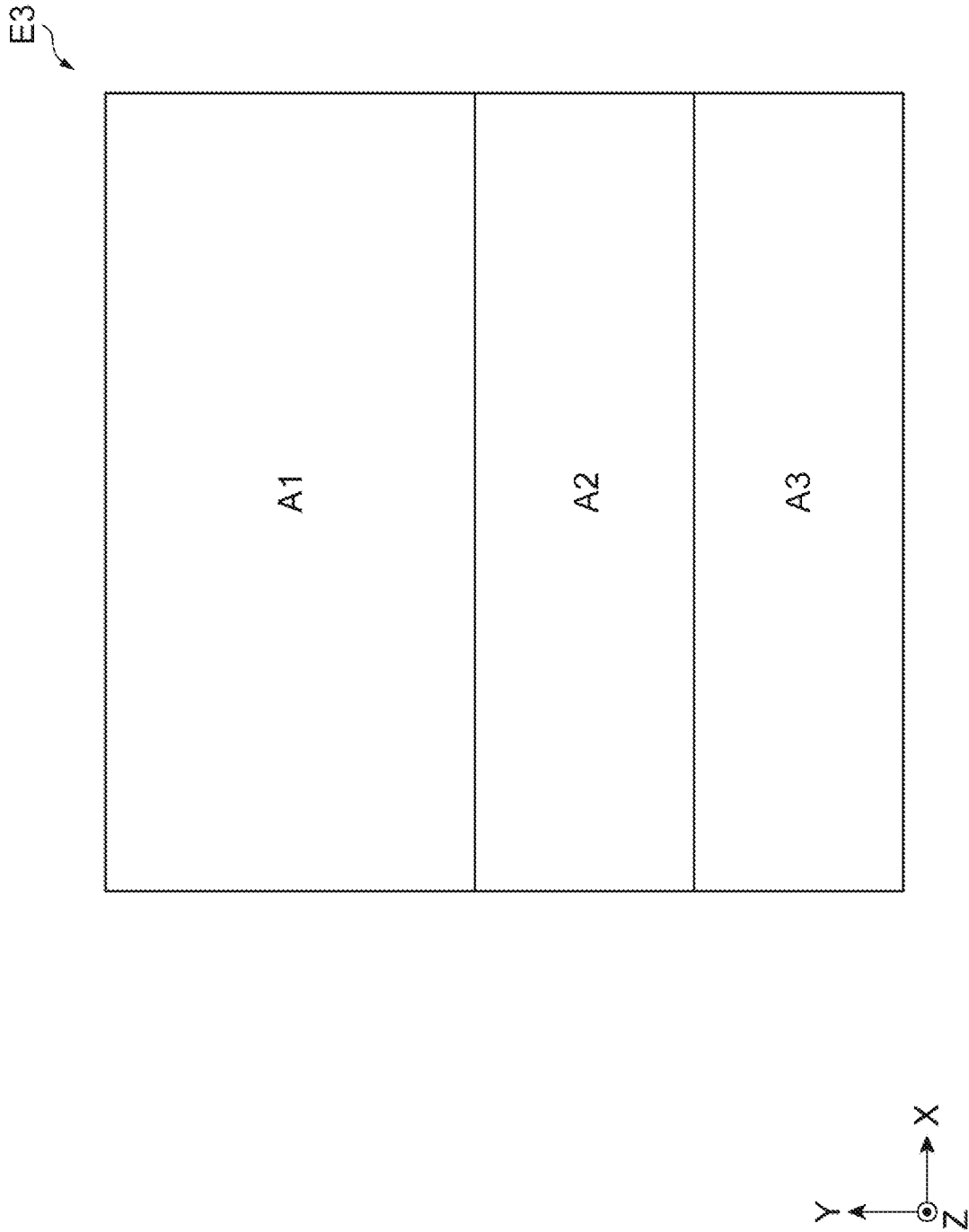
[図18]



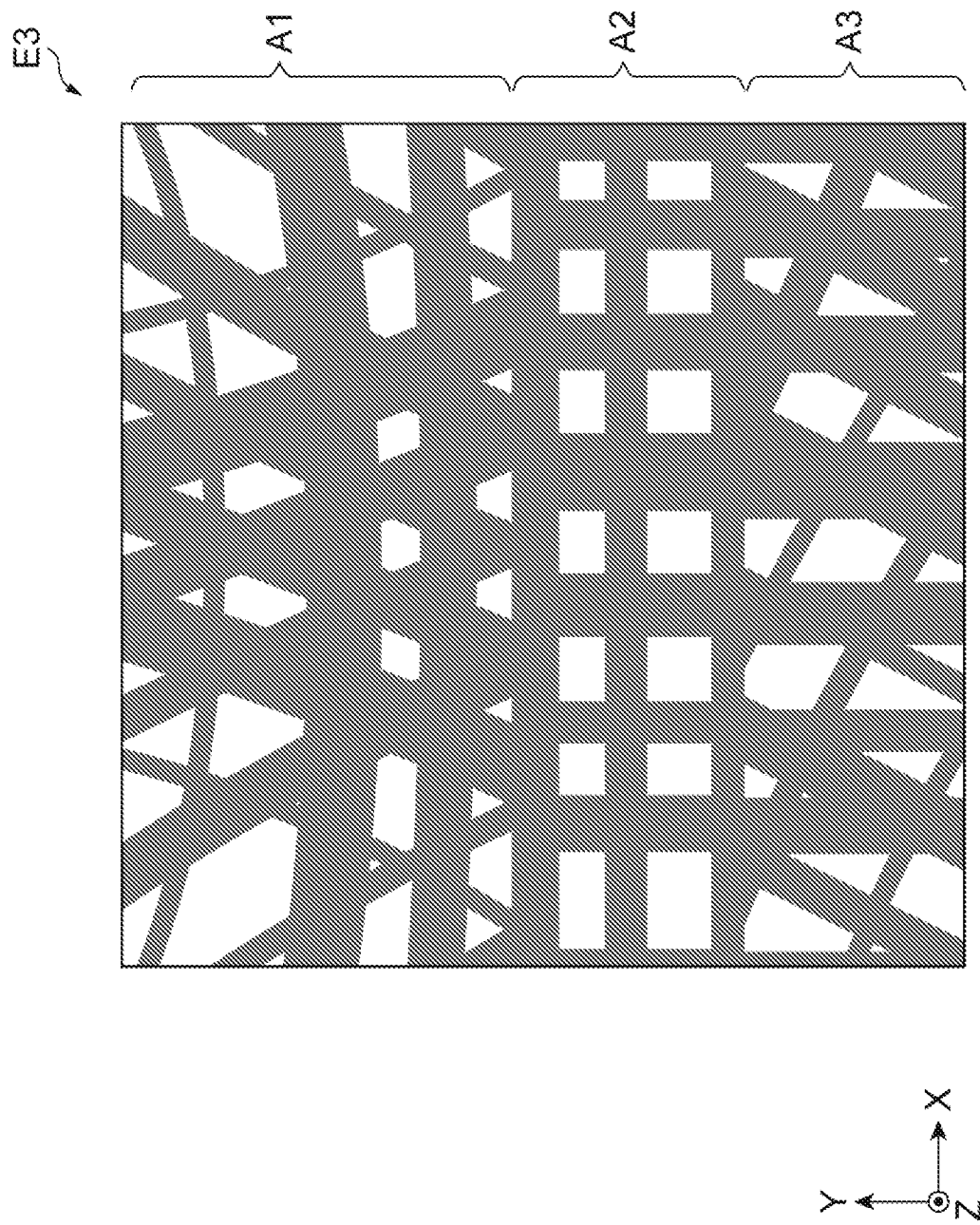
[図19]



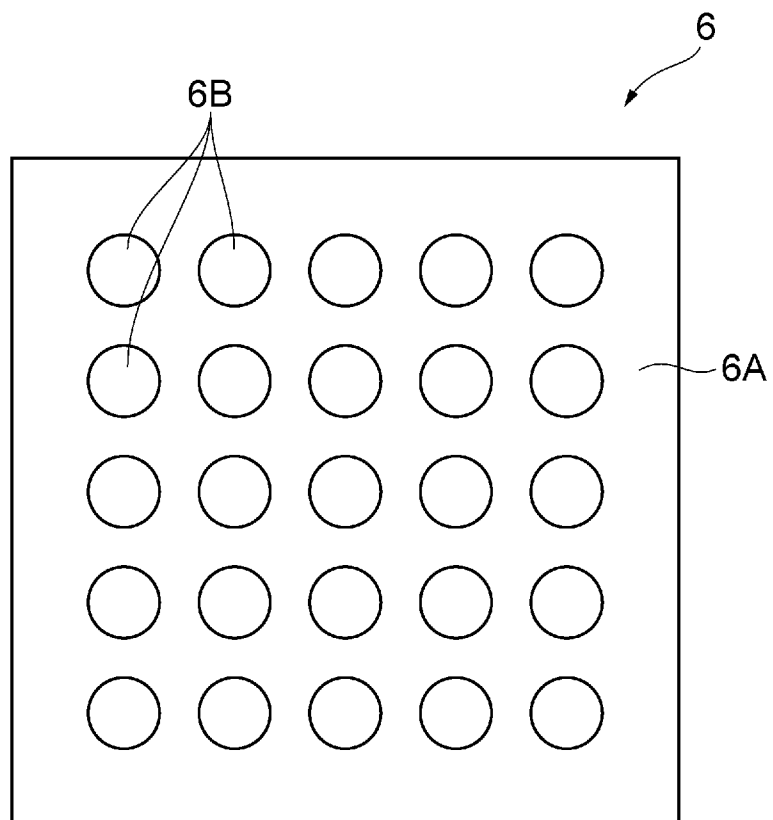
[図20]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/086039

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/026(2006.01)i, H01S5/183(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S5/00-5/50, G02F1/00-1/13, 1/137-1/141, 1/21-7/00, G03H1/00-5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2014/175447 A1 (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 30 October 2014 (30.10.2014), entire text; fig. 5 (Family: none)	1-6
P, X P, A	WO 2015/008627 A1 (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 22 January 2015 (22.01.2015), paragraph [0046]; fig. 5 (Family: none)	1 2-6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
22 February 2016 (22.02.16)

Date of mailing of the international search report
08 March 2016 (08.03.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S5/026(2006.01)i, H01S5/183(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S5/00-5/50, G02F1/00-1/13, 1/137-1/141, 1/21-7/00, G03H1/00-5/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2014/175447 A1 (浜松ホトニクス株式会社) 2014.10.30, 全文, 図5 (ファミリーなし)	1-6
P, X P, A	WO 2015/008627 A1 (浜松ホトニクス株式会社) 2015.01.22, 段落 0046, 図5 (ファミリーなし)	1 2-6

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

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

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

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

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

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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

22.02.2016

国際調査報告の発送日

08.03.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

高 椋 健 司

2 X

3 7 1 5

電話番号 03-3581-1101 内線 3294