(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2021-114552
(P2021-114552A)
(43)公開日　令和3年8月5日(2021.8.5)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
H01S	***5/42***	***(2006.01)***	H01S	5/42		2H149
H01S	***5/026***	***(2006.01)***	H01S	5/026	616	2H249
H01S	***5/22***	***(2006.01)***	H01S	5/22	610	5F173
G02B	***5/30***	***(2006.01)***	G02B	5/30		
G02B	*5/18*	*(2006.01)*	G02B	5/18		

審査請求 未請求　請求項の数 26　ＯＬ　（全 42 頁）

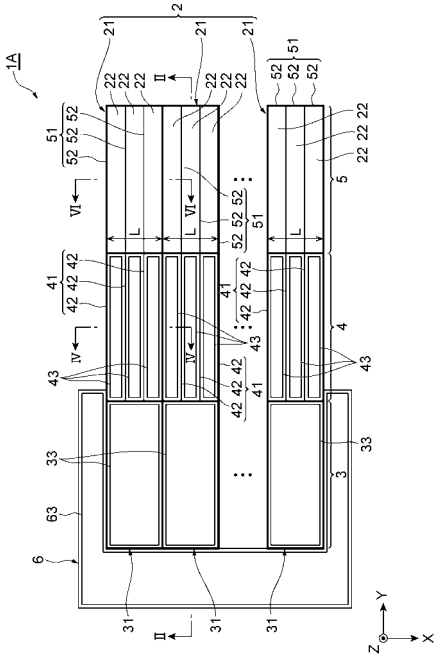
(21)出願番号　特願2020-6906(P2020-6906)
(22)出願日　令和2年1月20日(2020.1.20)

(71)出願人　000236436
浜松ホトニクス株式会社
静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１
(74)代理人　100088155
弁理士　長谷川　芳樹
(74)代理人　100113435
弁理士　黒木　義樹
(74)代理人　100140442
弁理士　柴山　健一
(74)代理人　100174399
弁理士　寺澤　正太郎
(72)発明者　山西　正道
静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１
浜松ホトニクス株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光源モジュール及び光変調モジュール

(57)【要約】
【課題】光の位相分布を動的に制御し得る光源モジュール及び光変調モジュールを提供する。
【解決手段】光源モジュール１Ａは、誘導放出光を出力するゲイン領域３と、誘導放出光の強度を調整する変調領域４と、強度調整された誘導放出光を出力する光出射面２とを備える。光出射面２は、一次元状または二次元状に配列された複数のピクセル２１を有する。各ピクセル２１は、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセル２２を含む。少なくとも３つのサブピクセル２２の配列方向における各ピクセル２１のサイズは誘導放出光の波長よりも小さい。変調領域４は、各サブピクセル２２に対応する複数の単位部分４２に分割されており、複数の単位部分４２それぞれが誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能である。少なくとも３つのサブピクセル２２から出力される誘導放出光の位相は互いに揃っている。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
誘導放出光を出力する発光部と、
前記誘導放出光の強度を調整する強度調整部と、
前記強度調整部により強度調整された前記誘導放出光を出力する光出射面と、
を備え、
前記光出射面は、一次元状または二次元状に配列された複数のピクセルを有し、
各ピクセルは、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含み、
前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルのサイズは前記誘導放出光の波長よりも小さく、
前記強度調整部は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、前記複数の単位部分それぞれが前記誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能であり、
前記少なくとも３つのサブピクセルから出力される前記誘導放出光の位相が互いに揃っている、光源モジュール。
【請求項２】
誘導放出光を出力する発光部と、
前記誘導放出光の強度を調整する強度調整部と、
前記強度調整部により強度調整された前記誘導放出光を出力する光出射面と、
前記光出射面と光学的に結合された縮小光学系と、
を備え、
前記光出射面は、一次元状または二次元状に配列された複数のピクセルを有し、
各ピクセルは、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含み、
前記縮小光学系を通過した後の或る位置において、前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルからの光束の幅は前記誘導放出光の波長よりも小さく、
前記強度調整部は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、前記複数の単位部分それぞれが前記誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能であり、
前記少なくとも３つのサブピクセルから出力される前記誘導放出光の位相が互いに揃っている、光源モジュール。
【請求項３】
主面を有する基板を備え、前記主面は第１及び第２の領域を含み、
前記発光部は、前記第１の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられた活性層、及び該活性層上に設けられた上部クラッド層を含む半導体積層構造を有し、
前記強度調整部は、前記第２の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられ前記活性層と光学的に結合された光吸収層、及び該光吸収層上に設けられた上部クラッド層を含む半導体積層構造を有し、
前記強度調整部の前記光吸収層及び前記上部クラッド層が前記複数の単位部分に電気的に分割されている、請求項１または２に記載の光源モジュール。
【請求項４】
前記基板の前記主面は、前記第１の領域との間に前記第２の領域を挟む位置に設けられた第３の領域を更に含み、
当該光源モジュールは、前記第３の領域上に設けられた光回折部を更に備え、
前記光回折部は、前記第３の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられ前記強度調整部の前記光吸収層と光学的に結合された光導波層、該光導波層上に設けられた上部クラッド層、及び回折格子層を含む半導体積層構造を有し、前記強度調整部から前記光導波層を介して受けた前記誘導放出光を前記主面と交差する方向に出力し、前記光出射面は前記光回折部に対して該方向に設けられ、
前記光回折部の前記回折格子層及び前記上部クラッド層は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されている、請求項３に記載の光源モジュール。
【請求項５】

前記光回折部の前記半導体積層構造は、前記光回折部の前記複数の単位部分と交互に形成されたスリットを有する、請求項４に記載の光源モジュール。
【請求項６】
前記強度調整部の前記半導体積層構造は、前記強度調整部の前記複数の単位部分と交互に設けられた高抵抗領域を含む、請求項３～５のいずれか１項に記載の光源モジュール。
【請求項７】
前記基板の前記主面は、前記第２の領域との間に前記第１の領域を挟む位置に設けられた第４の領域を更に含み、
当該光源モジュールは、前記第４の領域上に設けられた光吸収部を更に備え、
前記光吸収部は、前記第４の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられ前記活性層と光学的に結合された光吸収層、及び該光吸収層上に設けられた上部クラッド層を含む半導体積層構造を有する、請求項３～６のいずれか１項に記載の光源モジュール。
【請求項８】
扇型に広がる光導波路を更に備え、
前記発光部は前記光導波路の中心点側の一端と光学的に結合され、
前記強度調整部は前記光導波路の円弧側の他端と光学的に結合され、
前記強度調整部の前記複数の単位部分は、前記光導波路を導波する前記誘導放出光の等位相面に沿って並んで配置されている、請求項１～７のいずれか１項に記載の光源モジュール。
【請求項９】
前記発光部は面光源であり、
前記強度調整部は、前記面光源の発光面と対向する面と、前記対向する面とは反対側の面とを有し、前記対向する面から受けた前記誘導放出光の強度を調整して前記反対側の面から出力する、請求項１または２に記載の光源モジュール。
【請求項１０】
前記光出射面は前記強度調整部の前記反対側の面により構成される、請求項９に記載の光源モジュール。
【請求項１１】
前記光出射面上に設けられ、前記光出射面から出力された前記誘導放出光の強度を調整する別の強度調整部と、
前記別の強度調整部により強度調整された前記誘導放出光を出力する別の光出射面と、
を更に備え、
前記別の光出射面は、光出力方向から見て前記光出射面の前記複数のピクセルとそれぞれ重なる複数のピクセルを有し、
前記別の光出射面の各ピクセルは、前記光出射面の前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向と交差する方向に一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含み、
前記別の光出射面の前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルのサイズは前記誘導放出光の波長よりも小さく、
前記別の強度調整部は、前記別の光出射面の各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、該複数の単位部分それぞれが前記誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能である、請求項１に記載の光源モジュール。
【請求項１２】
前記光出射面上に設けられ、前記光出射面から出力された前記誘導放出光の強度を調整する別の強度調整部と、
前記別の強度調整部により強度調整された前記誘導放出光を出力する別の光出射面と、
を更に備え、
前記縮小光学系は、前記別の光出射面と光学的に結合され、
前記別の光出射面は、光出力方向から見て前記光出射面の前記複数のピクセルとそれぞれ重なる複数のピクセルを有し、

前記別の光出射面の各ピクセルは、前記光出射面の前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向と交差する方向に一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含み、
前記縮小光学系を通過した後の或る位置において、前記別の光出射面の前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルからの光束の幅は前記誘導放出光の波長よりも小さく、
前記別の強度調整部は、前記別の光出射面の各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、該複数の単位部分それぞれが前記誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能である、請求項２に記載の光源モジュール。
【請求項１３】
誘導放出光を出力する発光部と、
前記誘導放出光を出力する光出射面と、
を備え、
前記光出射面は、一次元状または二次元状に配列された複数のピクセルを有し、
各ピクセルは、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含み、
前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルのサイズは前記誘導放出光の波長よりも小さく、
前記発光部は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、前記複数の単位部分それぞれが前記誘導放出光の強度を個別に制御可能であり、
前記少なくとも３つのサブピクセルから出力される前記誘導放出光の位相が互いに揃っている、光源モジュール。
【請求項１４】
誘導放出光を出力する発光部と、
前記誘導放出光を出力する光出射面と、
前記光出射面と光学的に結合された縮小光学系と、
を備え、
前記光出射面は、一次元状または二次元状に配列された複数のピクセルを有し、
各ピクセルは、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含み、
前記縮小光学系を通過した後の或る位置において、前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルからの光束の幅は前記誘導放出光の波長よりも小さく、
前記発光部は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、前記複数の単位部分それぞれが前記誘導放出光の強度を個別に制御可能であり、
前記少なくとも３つのサブピクセルから出力される前記誘導放出光の位相が互いに揃っている、光源モジュール。
【請求項１５】
主面を有する基板を備え、前記主面は第１の領域を含み、
前記発光部は、前記第１の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられた活性層、及び該活性層上に設けられた上部クラッド層を含む半導体積層構造を有し、
前記発光部の前記活性層及び前記上部クラッド層が前記複数の単位部分に電気的に分割されている、請求項１３または１４に記載の光源モジュール。
【請求項１６】
前記基板の前記主面は第２の領域を更に含み、
当該光源モジュールは、前記第２の領域上に設けられた光回折部を更に備え、
前記光回折部は、前記第２の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられ前記発光部の前記活性層と光学的に結合された光導波層、該光導波層上に設けられた上部クラッド層、及び、該下部クラッド層と該光導波層との間または該光導波層と該上部クラッド層との間に設けられた回折格子層を含む半導体積層構造を有し、前記発光部から前記光導波層を介して受けた前記誘導放出光を前記主面と交差する方向に出力し、
前記光出射面は前記光回折部に対して該方向に設けられ、
前記光回折部の前記光導波層及び前記上部クラッド層は、各サブピクセルに対応する複

数の単位部分に分割されている、請求項１５に記載の光源モジュール。
【請求項１７】
前記光回折部の前記半導体積層構造は、前記光回折部の前記複数の単位部分と交互に形成されたスリットを有する、請求項１６に記載の光源モジュール。
【請求項１８】
前記基板の前記主面は、前記第２の領域との間に前記第１の領域を挟む位置に設けられた第３の領域を更に含み、
当該光源モジュールは、前記第３の領域上に設けられた光吸収部を更に備え、
前記光吸収部は、前記第３の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられ前記活性層と光学的に結合された光吸収層、及び該光吸収層上に設けられた上部クラッド層を含む半導体積層構造を有する、請求項１６または１７に記載の光源モジュール。
【請求項１９】
前記発光部の前記半導体積層構造は、前記発光部の前記複数の単位部分と交互に設けられた高抵抗領域を含む、請求項１５～１８のいずれか１項に記載の光源モジュール。
【請求項２０】
誘導放出光の強度を調整する強度調整部と、
前記強度調整部により強度調整された前記誘導放出光を出力する光出射面と、
を備え、
前記光出射面は、一次元状または二次元状に配列された複数のピクセルを有し、
各ピクセルは、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含み、
前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルのサイズは前記誘導放出光の波長よりも小さく、
前記強度調整部は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、前記複数の単位部分それぞれが前記誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能であり、
前記少なくとも３つのサブピクセルから出力される前記誘導放出光の位相が互いに揃っている、光変調モジュール。
【請求項２１】
誘導放出光の強度を調整する強度調整部と、
前記強度調整部により強度調整された前記誘導放出光を出力する光出射面と、
前記光出射面と光学的に結合された縮小光学系と、
を備え、
前記光出射面は、一次元状または二次元状に配列された複数のピクセルを有し、
各ピクセルは、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含み、
前記縮小光学系を通過した後の或る位置において、前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルからの光束の幅は前記誘導放出光の波長よりも小さく、
前記強度調整部は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、前記複数の単位部分それぞれが前記誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能であり、
前記少なくとも３つのサブピクセルから出力される前記誘導放出光の位相が互いに揃っている、光変調モジュール。
【請求項２２】
前記強度調整部は、前記誘導放出光を第１面から受け、前記誘導放出光の強度を調整して前記第１面から出力する反射型の構成を有する、請求項２０または２１に記載の光変調モジュール。
【請求項２３】
前記第１面に入力される前記誘導放出光は、第１の偏光方向を有する直線偏光であり、
前記強度調整部は、前記誘導放出光の偏光方向を前記第１の偏光方向と交差する第２の偏光方向とする偏光回転部を有し、
当該光変調モジュールは、前記第１面と光学的に結合され、前記第１面に入力される強度調整前の前記誘導放出光と前記第１面から出力される強度調整後の前記誘導放出光とを

分離する偏光ビームスプリッタを更に備える、請求項２２に記載の光変調モジュール。
【請求項２４】
前記光出射面は前記強度調整部の前記第１面により構成される、請求項２２または２３に記載の光変調モジュール。
【請求項２５】
前記光出射面上に設けられ、前記光出射面から出力された前記誘導放出光の強度を調整する別の強度調整部と、
前記別の強度調整部により強度調整された前記誘導放出光を出力する別の光出射面と、
を更に備え、
前記別の光出射面は、光出力方向から見て前記光出射面の前記複数のピクセルとそれぞれ重なる複数のピクセルを有し、
前記別の光出射面の各ピクセルは、前記光出射面の前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向と交差する方向に一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含み、
前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルのサイズは前記誘導放出光の波長よりも小さく、
前記別の強度調整部は、前記別の光出射面の各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、該複数の単位部分それぞれが前記誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能である、請求項２０に記載の光変調モジュール。
【請求項２６】
前記光出射面上に設けられ、前記光出射面から出力された前記誘導放出光の強度を調整する別の強度調整部と、
前記別の強度調整部により強度調整された前記誘導放出光を出力する別の光出射面と、
を更に備え、
前記縮小光学系は、前記別の光出射面と光学的に結合され、
前記別の光出射面は、光出力方向から見て前記光出射面の前記複数のピクセルとそれぞれ重なる複数のピクセルを有し、
前記別の光出射面の各ピクセルは、前記光出射面の前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向と交差する方向に一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含み、
前記縮小光学系を通過した後の或る位置において、前記別の光出射面の前記少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルからの光束の幅は前記誘導放出光の波長よりも小さく、
前記別の強度調整部は、前記別の光出射面の各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、該複数の単位部分それぞれが前記誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能である、請求項２１に記載の光変調モジュール。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、光源モジュール及び光変調モジュールに関する。
【背景技術】
【０００２】
特許文献１には、端面発光型の半導体レーザ素子に関する技術が開示されている。この半導体レーザ素子は、基板上に形成された下部クラッド層と、上部クラッド層と、下部クラッド層と上部クラッド層との間に介在する活性層と、活性層と上部及び下部クラッド層の少なくともいずれか一方との間に介在するフォトニック結晶層と、活性層の第１領域に駆動電流を供給するための第１駆動電極とを備える。第１駆動電極の長手方向は、半導体レーザ素子の厚み方向から見た場合、この半導体レーザ素子の光出射端面の法線に対して傾斜している。フォトニック結晶層の第１領域に対応する領域は、周囲と屈折率が異なる異屈折率部の配列周期が互いに異なる第１及び第２の周期構造を有する。第１及び第２の周期構造におけるそれぞれの配列周期の逆数の差分に応じて、第１駆動電極の長手方向に対して所定の角度を成す２つ以上のレーザビームが半導体レーザ素子内部で生成される。

これらのレーザビームのうち、光出射端面に向かう１つのレーザビームの光出射端面に対する屈折角は９０度未満である。光出射端面に向かう別の少なくとも１つのレーザビームは、光出射端面に対して全反射臨界角条件を満たす。

【０００３】

非特許文献１には、コンピュータ生成ホログラム（Computer Generated Hologram：ＣＧＨ）に関する技術が開示されている。それぞれ独立した反射率を有する４つのサブピクセルを印刷により作成して一つのピクセルとし、複数のピクセルにレーザ光を照射してその反射光を合成する。この場合、各ピクセルからの発光方向を任意にシフトし得ることが述べられている。非特許文献２には、非特許文献１に記載された技術において、各ピクセルが、それぞれ独立した反射率を有する３つのサブピクセルを含んでいれば、各ピクセルからの発光方向を任意にシフトし得ることが述べられている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【特許文献１】特開２０１３－１２０８０１号公報

【非特許文献】

【０００５】

【非特許文献１】Wai Hon Lee, “Sampled Fourier Transform Hologram Generated byComputer”, Applied Optics, Vol. 9, No. 3, pp.639-643, March 1970

【非特許文献２】C. B. Burckhardt, “A Simplification of Lee's Method of Generating Hologramsby Computer”, Applied Optics, Vol. 9, No. 8, p.1949, August 1970

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

従来より、空間的な位相変調により、光の進行方向を変化させる、或いは任意の光像を生成するなどの技術が研究されている。或る技術では、半導体レーザ素子の活性層の近傍に、複数の異屈折率領域とを含む位相変調層を設ける。そして、位相変調層の厚み方向に垂直な面内において仮想的な正方格子を設定した場合に、例えば、複数の異屈折率領域の重心を、仮想的な正方格子の格子点から離れて配置するとともに、格子点周りの回転角度を各異屈折率領域毎に個別に設定する。このような素子によれば、フォトニック結晶レーザ素子と同様にレーザ光を積層方向に出射するとともに、レーザ光の位相分布を空間的に制御し、レーザ光を任意の光像として出射することができる。

【０００７】

しかしながら、この素子では、位相変調層の複数の異屈折率領域の配置が固定されているので、予め設計された一の光像のみしか出力することができない。出射光像や光の進行方向を動的に変化させるためには、出射光の位相分布を動的に制御する必要がある。そこで、本開示は、光の位相分布を動的に制御し得る光源モジュール及び光変調モジュール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】

本開示の一形態に係る第１の光源モジュールは、誘導放出光を出力する発光部と、誘導放出光の強度を調整する強度調整部と、強度調整部により強度調整された誘導放出光を出力する光出射面とを備える。光出射面は、一次元状または二次元状に配列された複数のピクセルを有する。各ピクセルは、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含む。少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルのサイズは誘導放出光の波長よりも小さい。強度調整部は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、複数の単位部分それぞれが誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能である。少なくとも３つのサブピクセルから出力される誘導放出光の位相は互いに揃っている。

【０００９】

本開示の一形態に係る第２の光源モジュールは、誘導放出光を出力する発光部と、誘導

放出光の強度を調整する強度調整部と、強度調整部により強度調整された誘導放出光を出力する光出射面と、光出射面と光学的に結合された縮小光学系と、を備える。光出射面は、一次元状または二次元状に配列された複数のピクセルを有する。各ピクセルは、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含む。縮小光学系を通過した後の或る位置において、少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルからの光束の幅は誘導放出光の波長よりも小さい。強度調整部は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、複数の単位部分それぞれが誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能である。少なくとも３つのサブピクセルから出力される誘導放出光の位相は互いに揃っている。

【００１０】

この第１及び第２の光源モジュールでは、発光部から出力された誘導放出光が、強度調整部の複数の単位部分に入力される。そして、強度調整部は、各単位部分において誘導放出光の強度を個別に調整する。強度調整された誘導放出光は、各単位部分から光出射面の各サブピクセルを通じて出力される。従って、この第１の光源モジュールでは、各ピクセルに含まれる少なくとも３つのサブピクセルから出力する誘導放出光の強度を、各サブピクセル毎に独立して制御することができる。また、第１の光源モジュールでは、少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルのサイズが、誘導放出光の波長よりも小さい。また、第２の光源モジュールでは、縮小光学系を通過した後の或る位置において、少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルからの光束の幅が、誘導放出光の波長よりも小さい。これらの場合、少なくとも３つのサブピクセルを纏めて、等価的に単一の位相を有する画素と見なすことができ、且つ、少なくとも３つのサブピクセルから出力される誘導放出光の位相が互いに揃っている場合、各ピクセルから出力される誘導放出光の位相は、少なくとも３つのサブピクセルにより実現される強度分布によって定まる。従って、上記第１及び第２の光源モジュールによれば、光の位相分布を動的に制御することができる。

【００１１】

上記第１及び第２の光源モジュールは、主面を有する基板を備え、主面は第１及び第２の領域を含み、発光部は、第１の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられた活性層、及び該活性層上に設けられた上部クラッド層を含む半導体積層構造を有し、強度調整部は、第２の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられ活性層と光学的に結合された光吸収層、及び該光吸収層上に設けられた上部クラッド層を含む半導体積層構造を有し、強度調整部の光吸収層及び上部クラッド層が複数の単位部分に電気的に分割されてもよい。この場合、発光部及び強度調整部を、半導体素子を用いて小型に構成することができる。

【００１２】

上記第１及び第２の光源モジュールにおいて、基板の主面は、第１の領域との間に第２の領域を挟む位置に設けられた第３の領域を更に含み、当該光源モジュールは、第３の領域上に設けられた光回折部を更に備え、光回折部は、第３の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられ強度調整部の光吸収層と光学的に結合された光導波層、該光導波層上に設けられた上部クラッド層、及び回折格子層を含む半導体積層構造を有し、強度調整部から光導波層を介して受けた誘導放出光を主面と交差する方向に出力し、光出射面は光回折部に対して該方向に設けられ、光回折部の回折格子層及び上部クラッド層は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されてもよい。この場合、半導体素子を用いて発光部及び強度調整部を構成したときに、強度調整後の誘導放出光を基板の主面と交差する方向に出力することができる。故に、複数のピクセルを容易に集積化することが可能であり、複数のピクセルの配列の自由度を高めることができる。

【００１３】

上記第１及び第２の光源モジュールにおいて、光回折部の半導体積層構造は、光回折部の複数の単位部分と交互に形成されたスリットを有してもよい。例えばこのような構成により、光回折部の光導波層及び上部クラッド層を、各サブピクセルに対応する複数の単位

部分に容易に分割することができる。

【００１４】

上記第１及び第２の光源モジュールにおいて、強度調整部の半導体積層構造は、強度調整部の複数の単位部分と交互に設けられた高抵抗領域を含んでもよい。例えばこのような構成により、複数の単位部分それぞれが誘導放出光の強度調整量を個別に制御することができる。

【００１５】

上記第１及び第２の光源モジュールにおいて、基板の主面は、第２の領域との間に第１の領域を挟む位置に設けられた第４の領域を更に含み、当該光源モジュールは、第４の領域上に設けられた光吸収部を更に備え、光吸収部は、第４の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられ活性層と光学的に結合された光吸収層、及び該光吸収層上に設けられた上部クラッド層を含む半導体積層構造を有してもよい。この場合、半導体素子を用いて発光部を構成した場合のレーザ発振を抑制して、誘導放出光に含まれるスペックルノイズを低減することができる。

【００１６】

上記第１及び第２の光源モジュールは、扇型に広がる光導波路を更に備え、発光部は光導波路の中心点側の一端と光学的に結合され、強度調整部は光導波路の円弧側の他端と光学的に結合され、強度調整部の複数の単位部分は、光導波路を導波する誘導放出光の等位相面に沿って並んで配置されてもよい。この場合、誘導放出光の位相を容易に揃えることができる。

【００１７】

上記第１及び第２の光源モジュールにおいて、発光部は面光源であり、強度調整部は、面光源の発光面と対向する面と、該対向する面とは反対側の面とを有し、該対向する面から受けた誘導放出光の強度を調整して該反対側の面から出力してもよい。この場合、例えば複数のピクセルが二次元状に配置された面発光型の光源モジュールを容易に実現することができる。

【００１８】

上記第１及び第２の光源モジュールにおいて、光出射面は強度調整部の上記反対側の面により構成されてもよい。その場合、光源モジュールは、光出射面上に設けられ、光出射面から出力された誘導放出光の強度を調整する別の強度調整部と、別の強度調整部により強度調整された誘導放出光を出力する別の光出射面と、を更に備えてもよい。その場合、第２の光源モジュールにおいては、縮小光学系は別の光出射面と光学的に結合される。そして、別の光出射面は、光出力方向から見て光出射面の複数のピクセルとそれぞれ重なる複数のピクセルを有し、別の光出射面の各ピクセルは、光出射面の少なくとも３つのサブピクセルの配列方向と交差する方向に一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含み、別の光出射面の少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルのサイズ（或いは、縮小光学系を通過した後の或る位置における、別の光出射面の少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルからの光束の幅）は誘導放出光の波長よりも小さく、別の強度調整部は、別の光出射面の各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、該複数の単位部分それぞれが誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能であってもよい。例えばこのような構成により、複数のピクセルが二次元状に配置された面発光型の光源モジュールを実現することができる。

【００１９】

本開示の一形態に係る第３の光源モジュールは、誘導放出光を出力する発光部と、誘導放出光を出力する光出射面とを備える。光出射面は、一次元状または二次元状に配列された複数のピクセルを有する。各ピクセルは、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含む。少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルのサイズは誘導放出光の波長より小さい。発光部は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、複数の単位部分それぞれが誘導放出光の強度を個別に制御可能である。少なくとも３つのサブピクセルから出力される誘導放出光の位相は互いに揃っている。

【００２０】
本開示の一形態に係る第４の光源モジュールは、誘導放出光を出力する発光部と、誘導放出光を出力する光出射面と、光出射面と光学的に結合された縮小光学系と、を備える。光出射面は、一次元状または二次元状に配列された複数のピクセルを有する。各ピクセルは、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含む。縮小光学系を通過した後の或る位置において、少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルからの光束の幅は誘導放出光の波長よりも小さい。発光部は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、複数の単位部分それぞれが誘導放出光の強度を個別に制御可能である。少なくとも３つのサブピクセルから出力される誘導放出光の位相が互いに揃っている。

【００２１】
この第３及び第４の光源モジュールでは、発光部の複数の単位部分それぞれから誘導放出光が出力される。その際、発光部は、各単位部分において誘導放出光の強度を個別に調整することができる。強度調整された誘導放出光は、各単位部分から光出射面の各サブピクセルを通じて出力される。従って、この第３及び第４の光源モジュールでは、各ピクセルに含まれる少なくとも３つのサブピクセルから出力する誘導放出光の強度を、各サブピクセル毎に独立して制御することができる。また、第３の光源モジュールでは、少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルのサイズが、誘導放出光の波長よりも小さい。また、第４の光源モジュールでは、縮小光学系を通過した後の或る位置において、少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルからの光束の幅は誘導放出光の波長よりも小さい。これらの場合、少なくとも３つのサブピクセルを纏めて、等価的に単一の位相を有する画素と見なすことができ、且つ、少なくとも３つのサブピクセルから出力される誘導放出光の位相が互いに揃っている場合、各ピクセルから出力される誘導放出光の位相は、少なくとも３つのサブピクセルにより実現される強度分布によって定まる。従って、上記第３及び第４の光源モジュールによれば、光の位相分布を動的に制御することができる。

【００２２】
上記第３及び第４の光源モジュールは、主面を有する基板を備え、主面は第１の領域を含み、発光部は、第１の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられた活性層、及び該活性層上に設けられた上部クラッド層を含む半導体積層構造を有し、発光部の活性層及び上部クラッド層が複数の単位部分に電気的に分割されてもよい。この場合、発光部を、半導体素子を用いて小型に構成することができる。

【００２３】
上記第３及び第４の光源モジュールにおいて、基板の主面は第２の領域を更に含み、当該光源モジュールは、第２の領域上に設けられた光回折部を更に備え、光回折部は、第２の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられ発光部の活性層と光学的に結合された光導波層、該光導波層上に設けられた上部クラッド層、及び回折格子層を含む半導体積層構造を有し、発光部から光導波層を介して受けた誘導放出光を主面と交差する方向に出力し、光出射面は光回折部に対して該方向に設けられ、光回折部の回折格子層及び上部クラッド層は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されてもよい。この場合、半導体素子を用いて発光部を構成したときに、強度が調整された誘導放出光を基板の主面と交差する方向に出力することができる。故に、複数のピクセルを容易に集積化することが可能であり、複数のピクセルの配列の自由度を高めることができる。

【００２４】
上記第３及び第４の光源モジュールにおいて、光回折部の半導体積層構造は、光回折部の複数の単位部分と交互に形成されたスリットを有してもよい。例えばこのような構成により、光回折部の光導波層及び上部クラッド層を、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に容易に分割することができる。

【００２５】
上記第３及び第４の光源モジュールにおいて、基板の主面は、第２の領域との間に第１

の領域を挟む位置に設けられた第３の領域を更に含み、当該光源モジュールは、第３の領域上に設けられた光吸収部を更に備え、光吸収部は、第３の領域上に設けられた下部クラッド層、該下部クラッド層上に設けられ活性層と光学的に結合された光吸収層、及び該光吸収層上に設けられた上部クラッド層を含む半導体積層構造を有してもよい。この場合、半導体素子を用いて発光部を構成した場合のレーザ発振を抑制して、誘導放出光に含まれるスペックルノイズを低減することができる。

【００２６】

上記第３及び第４の光源モジュールにおいて、発光部の半導体積層構造は、発光部の複数の単位部分と交互に設けられた高抵抗領域を含んでもよい。例えばこのような構成により、複数の単位部分それぞれが誘導放出光の強度を個別に制御することができる。

【００２７】

本開示の一形態に係る第１の光変調モジュールは、誘導放出光の強度を調整する強度調整部と、強度調整部により強度調整された誘導放出光を出力する光出射面とを備える。光出射面は、一次元状または二次元状に配列された複数のピクセルを有する。各ピクセルは、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含む。少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルのサイズは誘導放出光の波長よりも小さい。強度調整部は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、複数の単位部分それぞれが誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能である。少なくとも３つのサブピクセルから出力される誘導放出光の位相は互いに揃っている。

【００２８】

本開示の一形態に係る第２の光変調モジュールは、誘導放出光の強度を調整する強度調整部と、強度調整部により強度調整された誘導放出光を出力する光出射面と、光出射面と光学的に結合された縮小光学系と、を備える。光出射面は、一次元状または二次元状に配列された複数のピクセルを有する。各ピクセルは、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含む。縮小光学系を通過した後の或る位置において、少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルからの光束の幅は誘導放出光の波長よりも小さい。強度調整部は、各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、複数の単位部分それぞれが誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能である。少なくとも３つのサブピクセルから出力される誘導放出光の位相が互いに揃っている。

【００２９】

この第１及び第２の光変調モジュールでは、誘導放出光が、該光変調モジュールの外部から強度調整部の複数の単位部分に入力される。そして、強度調整部は、各単位部分において誘導放出光の強度を個別に調整する。強度調整された誘導放出光は、各単位部分から光出射面の各サブピクセルを通じて出力される。従って、この第１及び第２の光変調モジュールでは、各ピクセルに含まれる少なくとも３つのサブピクセルから出力する誘導放出光の強度を、各サブピクセル毎に独立して制御することができる。また、第１の光変調モジュールでは、少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルのサイズが、誘導放出光の波長よりも小さい。また、第２の光変調モジュールでは、縮小光学系を通過した後の或る位置において、少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルからの光束の幅が、誘導放出光の波長よりも小さい。これらの場合、少なくとも３つのサブピクセルを纏めて、等価的に単一の位相を有する画素と見なすことができ、且つ、少なくとも３つのサブピクセルから出力される誘導放出光の位相が互いに揃っている場合、各ピクセルから出力される誘導放出光の位相は、少なくとも３つのサブピクセルにより実現される強度分布によって定まる。従って、上記第１及び第２の光変調モジュールによれば、光の位相分布を動的に制御することができる。

【００３０】

上記第１及び第２の光変調モジュールにおいて、強度調整部は、誘導放出光を第１面から受け、誘導放出光の強度を調整して第１面から出力する反射型の構成を有してもよい。この場合、例えば複数のピクセルが二次元状に配置された光変調モジュールを容易に実現することができる。

【００３１】
上記第１及び第２の光変調モジュールにおいて、第１面に入力される誘導放出光は、第１の偏光方向を有する直線偏光であり、強度調整部は、誘導放出光の偏光方向を第１の偏光方向と交差する第２の偏光方向とする偏光回転部を有し、当該光変調モジュールは、第１面と光学的に結合され、第１面に入力される強度調整前の誘導放出光と第１面から出力される強度調整後の誘導放出光とを分離する偏光ビームスプリッタを更に備えてもよい。例えばこのような構成によって、反射型の強度調整部に対して同軸でもって誘導放出光の入出射を行うことができ、光学系を簡素化できる。
【００３２】
上記第１及び第２の光変調モジュールにおいて、光出射面は強度調整部の第１面により構成されてもよい。その場合、光変調モジュールは、光出射面上に設けられ、光出射面から出力された誘導放出光の強度を調整する別の強度調整部と、別の強度調整部により強度調整された誘導放出光を出力する別の光出射面と、を更に備えてもよい。その場合、第２の光変調モジュールにおいては、縮小光学系は別の光出射面と光学的に結合される。そして、別の光出射面は、光出力方向から見て光出射面の複数のピクセルとそれぞれ重なる複数のピクセルを有し、別の光出射面の各ピクセルは、光出射面の少なくとも３つのサブピクセルの配列方向と交差する方向に一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセルを含み、別の光出射面の少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルのサイズ（或いは、縮小光学系を通過した後の或る位置における、別の光出射面の少なくとも３つのサブピクセルの配列方向における各ピクセルからの光束の幅）は誘導放出光の波長よりも小さく、別の強度調整部は、別の光出射面の各サブピクセルに対応する複数の単位部分に分割されており、該複数の単位部分それぞれが誘導放出光の強度調整量を個別に制御可能であってもよい。例えばこのような構成により、複数のピクセルが二次元状に配置された光変調モジュールを実現することができる。
【発明の効果】
【００３３】
本開示によれば、光の位相分布を動的に制御し得る光源モジュール及び光変調モジュールを提供することが可能となる。
【図面の簡単な説明】
【００３４】
【図１】本開示の第１実施形態に係る光源モジュール１Ａの構成を概略的に示す平面図である。
【図２】図１に示すＩＩ－ＩＩ線に沿った断面図であって、光源モジュール１ＡのＹ方向に沿った側断面を示す。
【図３】図２に示す光源モジュール１Ａの変形例を示す図である。
【図４】図１に示すＩＶ－ＩＶ線に沿った断面図であって、変調領域４のＸ方向に沿った側断面を示す。
【図５】（ａ）部及び（ｂ）部は、回折格子層５８における回折格子の形状の例を示す平面図である。
【図６】図１に示すＶＩ－ＶＩ線に沿った断面図であって、回折領域５のＸ方向に沿った側断面を示す。
【図７】第１変形例に係る光源モジュール１Ｂを示す断面図であって、図１のＩＩ－ＩＩ線に沿った断面に対応する断面を示す。
【図８】第２変形例に係る光源モジュール１Ｃを示す断面図であって、図１のＩＩ－ＩＩ線に沿った断面に対応する断面を示す。
【図９】第３変形例に係る光源モジュール１Ｄを示す平面図である。
【図１０】第４変形例に係る光源モジュール１Ｅを示す平面図である。
【図１１】実空間（ａ），（ｂ）及び逆格子空間（ｃ），（ｄ）におけるΓ点及びＭ点を説明するための図である。
【図１２】第５変形例に係る光源モジュール１Ｆを示す平面図である。

【図１３】本開示の第２実施形態に係る光源モジュール１Ｇの構成を概略的に示す平面図である。
【図１４】図１３に示すＸＩＶ－ＸＩＶ線に沿った断面図であって、光源モジュール１ＧのＹ方向に沿った側断面を示す。
【図１５】図１３に示すＸＶ－ＸＶ線に沿った断面図であって、ゲイン領域３ＣのＸ方向に沿った側断面を示す。
【図１６】第６変形例に係る光源モジュール１Ｈを示す断面図である。
【図１７】（ａ）部は、本開示の第３実施形態に係る光源モジュール１Ｊの構成を概略的に示す平面図である。（ｂ）部は、光源モジュール１ＪをＹ方向から見た概略的な側面図である。
【図１８】図１７の（ａ）部に示すＸＶＩＩＩ－ＸＶＩＩＩ線に沿った断面図であって、光源モジュール１ＪのＹ方向に沿った側断面を示す。
【図１９】第７変形例に係る光源モジュール１Ｋを示す断面図である。
【図２０】本開示の第４実施形態に係る光変調モジュール１Ｌの構成を概略的に示す断面図である。
【図２１】（ａ）部は、一方の光出射面２Ｂの構成を示す平面図である。（ｂ）部は、他方の光出射面２Ｃの構成を示す平面図である。
【図２２】第８変形例として、光変調モジュール１Ｍの構成を示す断面図である。
【図２３】光変調モジュール１Ｍを含む光変調モジュール１Ｎの構成例を概略的に示す図である。
【図２４】本開示の第５実施形態に係る光源モジュール１Ｐの構成を概略的に示す断面図である。
【図２５】（ａ）部～（ｈ）部は、非特許文献１に記載された技術を説明するための図である。
【図２６】（ａ）部～（ｈ）部は、非特許文献２に記載された技術を説明するための図である。
【発明を実施するための形態】
【００３５】
本開示の光源モジュール及び光変調モジュールの具体例を、以下に図面を参照しつつ説明する。なお、本発明はこれらの例示に限定されるものではなく、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味及び範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。以下の説明では、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。
【００３６】
（第１実施形態）
図１は、本開示の第１実施形態に係る光源モジュール１Ａの構成を概略的に示す平面図である。光源モジュール１Ａは、共通の基板上に形成された半導体積層構造を含んで構成され、光出射面２、ゲイン領域３、変調領域４、回折領域５、及び吸収領域６を備える。ゲイン領域３は、本実施形態における発光部の例である。変調領域４は、本実施形態における強度調整部の例である。回折領域５は、本実施形態における光回折部の例である。吸収領域６は、本実施形態における光吸収部の例である。
【００３７】
光出射面２は、回折領域５の上面により構成され、一次元状に配列された複数のピクセル２１を有する。図において、複数のピクセル２１は太い実線により区画して示されている。本実施形態では、複数のピクセル２１はＹ方向を長手方向とする長方形状を呈し、Ｙ方向と交差（例えば直交）するＸ方向に並んで配置され、互いに隣接している。各ピクセル２１は、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセル２２を含む。本実施形態では、各ピクセル２１において３つのサブピクセル２２がＸ方向に配列され、互いに隣接している。サブピクセル２２の配列方向（Ｘ方向）における各ピクセル２１のサイズＬは、後述するゲイン領域３から出力される誘導放出光の波長よりも小さい。

【００３８】
ゲイン領域３は、複数のピクセル２１にそれぞれ対応する複数の部分３１を含む。図において、複数の部分３１は太い実線により区画して示されている。各部分３１の平面形状は、Ｙ方向を長手方向とする長方形である。複数の部分３１は、Ｙ方向と交差（例えば直交）するＸ方向に並んで配置され、互いに隣接している。各部分３１は、電極３３を介して供給される電流により発光し、誘導放出光をＹ方向に出力する。
【００３９】
Ｙ方向における変調領域４の一端はゲイン領域３と光学的に結合され、他端は回折領域５を介して光出射面２と光学的に結合されている。変調領域４は、ゲイン領域３から出力された誘導放出光を減衰することにより、誘導放出光の強度を調整し、調整後の誘導放出光を回折領域５を介して光出射面２に提供する。変調領域４は、複数のピクセル２１にそれぞれ対応する複数の部分４１を含む。図において、複数の部分４１は太い実線により区画して示されている。各部分４１の平面形状は、Ｙ方向を長手方向とする長方形である。複数の部分４１は、Ｘ方向に並んで配置され、互いに隣接している。各部分４１は、ゲイン領域３の各部分３１と一対一で対応しており、各部分３１と光学的に結合されている。一例では、変調領域４の各部分４１とゲイン領域３の各部分３１とはＹ方向において互いに隣接している。更に、各部分４１は、Ｘ方向において、少なくとも３つの単位部分４２に分割されている。各単位部分４２は、光出射面２の各サブピクセル２２と一対一で対応している。少なくとも３つの単位部分４２は、Ｙ方向を長手方向とし、Ｘ方向に並んで配置され、互いに隣接している。単位部分４２の配列方向（Ｘ方向）における各部分４１の幅は、上述したサイズＬと等しく、ゲイン領域３から出力される誘導放出光の波長よりも小さい。ゲイン領域３から出力された誘導放出光は、各単位部分４２に入力される。ゲイン領域３から複数の単位部分４２に入力される誘導放出光の位相は、互いに揃っている。変調領域４は、各単位部分４２に設けられた電極４３を有する。変調領域４は、電極４３に印加される電圧に応じて、誘導放出光の強度調整量を単位部分４２毎に個別に制御する。
【００４０】
回折領域５は、変調領域４から受けた誘導放出光を、Ｘ方向及びＹ方向の双方と交差する（例えば直交する）Ｚ方向に出力する。回折領域５は、複数のピクセル２１にそれぞれ対応する複数の部分５１を含む。図において、複数の部分５１は太い実線（ピクセル２１を区画する実線と共通）により区画して示されている。各部分５１の平面形状は、Ｙ方向を長手方向とする長方形である。複数の部分５１は、Ｘ方向に並んで配置され、互いに隣接している。各部分５１は、変調領域４の各部分４１と一対一で対応しており、各部分４１と光学的に結合されている。一例では、回折領域５の各部分５１と変調領域４の各部分４１とはＹ方向において互いに隣接している。更に、各部分５１は、Ｘ方向において、少なくとも３つの単位部分５２に分割されている。各単位部分５２は、光出射面２の各サブピクセル２２と一対一で対応しており、各サブピクセル２２と光学的に結合されている。また、各単位部分５２は、変調領域４の各単位部分４２と一対一で対応しており、各単位部分４２と光学的に結合されている。少なくとも３つの単位部分５２は、Ｙ方向を長手方向とし、Ｘ方向に並んで配置され、互いに隣接している。単位部分５２の配列方向（Ｘ方向）における各部分５１の幅は、上述したサイズＬと等しく、ゲイン領域３から出力される誘導放出光の波長よりも小さい。
【００４１】
本実施形態では、光出射面２は回折領域５の上面（Ｚ方向における回折領域５の一方の端面）により構成されている。すなわち、光出射面２の各サブピクセル２２は、回折領域５の各単位部分５２の上面により構成されている。変調領域４により強度調整された誘導放出光は、回折領域５を介して光出射面２に達し、光出射面２からＺ方向に出力される。
【００４２】
吸収領域６は、変調領域４との間にゲイン領域３を挟む位置に設けられている。言い換えると、吸収領域６、ゲイン領域３、変調領域４、及び回折領域５は、Ｙ方向においてこ

の順に並んで配置されている。吸収領域６は、ゲイン領域３における変調領域４とは反対側の端から出力された誘導放出光を吸収するために設けられている。この場合、ゲイン領域３はレーザ発振せず、レーザ光ではない誘導放出光を変調領域４へ出力する。なお、ゲイン領域３から変調領域４へ誘導放出光としてレーザ光を出力させる場合には、吸収領域６は無くてもよい。この場合、誘導放出光の強度を高めることができる。一実施例では、吸収領域６の平面形状はゲイン領域３の端面及び両側面を囲むＵ字状である。図に示すように、ゲイン領域３の両側面を囲む部分は、ゲイン領域３の両側面を完全に囲み、変調領域４の側面の一部を更に囲んでもよい。

【００４３】

図２は、図１に示すＩＩ－ＩＩ線に沿った断面図であって、光源モジュール１ＡのＹ方向に沿った側断面を示す。図２に示すように、光源モジュール１Ａは、基板１０を備える。基板１０は、平坦且つ互いに平行な主面１０ａ及び裏面１０ｂを有する。基板１０は、半導体のエピタキシャル成長のために好適な基板であって、例えば半導体基板である。

【００４４】

主面１０ａは、領域１０ａａ（第１の領域）、領域１０ａｂ（第２の領域）、領域１０ａｃ（第３の領域）、及び領域１０ａｄ（第４の領域）を含む。領域１０ａａ及び領域１０ａｂは、Ｙ方向に並んでいる。領域１０ａｃは、領域１０ａａとの間に領域１０ａｂを挟む位置に設けられ、領域１０ａａ、領域１０ａｂ及び領域１０ａｃはＹ方向においてこの順に並んでいる。領域１０ａｄは、領域１０ａｂとの間に領域１０ａａを挟む位置に設けられ、領域１０ａｄ、領域１０ａａ及び領域１０ａｂはＹ方向においてこの順に並んでいる。

【００４５】

ゲイン領域３は、領域１０ａａ上に設けられた半導体積層構造３０を有する。半導体積層構造３０は、領域１０ａａ上に設けられた下部クラッド層３４と、下部クラッド層３４上に設けられた活性層３５と、活性層３５上に設けられた上部クラッド層３６と、上部クラッド層３６上に設けられたコンタクト層３７とを含む。活性層３５の屈折率は下部クラッド層３４及び上部クラッド層３６の屈折率より大きく、活性層３５のバンドギャップは下部クラッド層３４及び上部クラッド層３６のバンドギャップより小さい。また、半導体積層構造３０は、半導体層３８を更に含む。半導体層３８は、下部クラッド層３４と活性層３５との間、または活性層３５と上部クラッド層３６との間に設けられている。図示例では、半導体層３８は活性層３５と上部クラッド層３６との間に設けられている。コンタクト層３７上には、電極３３が設けられている。電極３３は、コンタクト層３７とオーミック接触を成す。基板１０の裏面１０ｂ上には、裏面電極３９が設けられている。裏面電極３９は、基板１０とオーミック接触を成す。

【００４６】

半導体積層構造３０は、Ｘ方向においてゲイン領域３の複数の部分３１と交互に設けられた高抵抗領域を更に含んでもよい。高抵抗領域は、半導体積層構造３０の複数の部分３１同士を電気的に分離する。この場合、高抵抗領域の幅を狭くして、互いに隣り合う部分３１間の相互の光の漏れ出し及び干渉を許容することにより、複数の部分３１から出力される誘導放出光の位相を揃えることができる。

【００４７】

変調領域４は、領域１０ａｂ上に設けられた半導体積層構造４０を有する。半導体積層構造４０は、領域１０ａｂ上に設けられた下部クラッド層４４と、下部クラッド層４４上に設けられた光吸収層４５と、光吸収層４５上に設けられた上部クラッド層４６と、上部クラッド層４６上に設けられたコンタクト層４７とを含む。光吸収層４５は、ゲイン領域３の活性層３５と同じ高さ位置に互いに隣り合って設けられ、活性層３５と光学的に結合されている。光吸収層４５の屈折率は下部クラッド層４４及び上部クラッド層４６の屈折率より大きく、光吸収層４５のバンドギャップは下部クラッド層４４及び上部クラッド層４６のバンドギャップより小さい。また、半導体積層構造４０は、半導体層４８を更に含む。半導体層４８は、下部クラッド層４４と光吸収層４５との間、または光吸収層４５と

上部クラッド層４６との間に設けられている。図示例では、半導体層４８は光吸収層４５と上部クラッド層４６との間に設けられている。コンタクト層４７上には、電極４３が設けられている。電極４３は、コンタクト層４７とオーミック接触を成す。基板１０の裏面１０ｂ上には、裏面電極４９が設けられている。裏面電極４９は、基板１０とオーミック接触を成す。

【００４８】

半導体積層構造３０と半導体積層構造４０との間には、高抵抗領域（または絶縁領域）７１が設けられている。高抵抗領域７１は、半導体積層構造３０，４０（但し、後述する高抵抗領域７２を除く）よりも高抵抗の領域であって、Ｘ方向におけるゲイン領域３及び変調領域４の全幅にわたって延在するとともに、半導体積層構造３０，４０の表面（すなわちコンタクト層３７，４７の表面）から下部クラッド層３４，４４に達している。Ｙ方向における高抵抗領域７１の幅は、例えば１μｍ以上１００μｍ以下である。これは、活性層３５と光吸収層４５との光結合を妨げることなく、半導体積層構造３０，４０の電気的な分離を可能とする幅である。

【００４９】

なお、図２に示した高抵抗領域７１は活性層３５及び光吸収層４５を貫通して下部クラッド層３４，４４に達しているが、図３に示すように、高抵抗領域７１は活性層３５及び光吸収層４５に達していなくてもよい。その場合、高抵抗領域７１の最下端は上部クラッド層３６，４６（または半導体層３８，４８）内に位置し、厚み方向における上部クラッド層３６，４６の一部及び半導体層３８，４８の全部、または厚み方向における半導体層３８，４８の一部が、互いに接してＹ方向に連続する。或いは、高抵抗領域７１の最下端が回折格子層５８内に位置してもよい。

【００５０】

図４は、図１に示すＩＶ－ＩＶ線に沿った断面図であって、変調領域４のＸ方向に沿った側断面を示す。図４に示すように、変調領域４の光吸収層４５、半導体層４８、上部クラッド層４６及びコンタクト層４７は、複数の単位部分４２に電気的に分割されている。具体的には、変調領域４の半導体積層構造４０は、複数の単位部分４２と交互に設けられた高抵抗領域７２を含む。高抵抗領域７２は、半導体積層構造４０の他の半導体層よりも高抵抗の領域であって、Ｙ方向における変調領域４の全長にわたって延在するとともに、半導体積層構造４０の表面（すなわちコンタクト層４７の表面）から下部クラッド層４４に達している。また、隣接する単位部分４２同士において互いに干渉してスーパーモードを形成し得るように、単位部分４２同士の間隔（すなわちＸ方向における高抵抗領域７２の幅）は誘導放出光の波長程度となっている。これにより、複数の単位部分４２間で誘導放出光の位相が揃った状態を維持することができる。また、隣接する単位部分４２間で光が漏れ出しやすいように、高抵抗領域７２は各層４４～４８よりも高い屈折率を有するか、または各層４４～４８と同一の屈折率を有する。

【００５１】

再び図２を参照する。回折領域５は、半導体積層構造５０を有する。半導体積層構造５０は、領域１０ａｃ上に設けられた下部クラッド層５４と、下部クラッド層５４上に設けられた光導波層５５と、光導波層５５上に設けられた上部クラッド層５６と、上部クラッド層５６上に設けられた半導体層５７とを含む。光導波層５５は、変調領域４の光吸収層４５と同じ高さ位置に互いに隣り合って設けられ、光吸収層４５と光学的に結合されている。光導波層５５の屈折率は下部クラッド層５４及び上部クラッド層５６の屈折率より大きく、光導波層５５のバンドギャップは下部クラッド層５４及び上部クラッド層５６のバンドギャップより小さい。また、半導体積層構造５０は、回折格子層５８を更に含む。回折格子層５８は、一次元又は二次元の回折格子を内部に有する。例えば、回折格子層５８は、基本層５８ａ及び複数の異屈折率領域５８ｂを含む。複数の異屈折率領域５８ｂは、基本層５８ａ内において一定の周期で配置され、基本層５８ａとは異なる屈折率を有する。複数の異屈折率領域５８ｂは、空孔であってもよく、基本層５８ａと異なる屈折率を有する半導体が埋め込まれることにより構成されてもよい。回折格子層５８は、下部クラッ

ド層５４と光導波層５５との間、または光導波層５５と上部クラッド層５６との間に設けられる。図示例では、回折格子層５８は光導波層５５と上部クラッド層５６との間に設けられている。半導体層５７上には、反射防止膜５３が設けられている。基板１０の裏面１０ｂ上には、反射ミラー５９が設けられている。

【００５２】

図５の（ａ）部及び（ｂ）部は、回折格子層５８における回折格子の形状の例を示す平面図である。図５の（ａ）部は、異屈折率領域５８ｂがＹ方向に一定の周期Ｔで配列された一次元的な回折格子を示す。また、図５の（ｂ）部は、異屈折率領域５８ｂがＸ方向及びＹ方向に一定の周期Ｔで配列された二次元的な回折格子（フォトニック結晶）を示す。これらの例において、回折格子の周期Ｔは、例えば、ゲイン領域３から出力される誘導放出光の波長と等しい。なお、図５の（ｂ）部には、異屈折率領域５８ｂの平面形状を正三角形とする場合を例示しているが、異屈折率領域５８ｂの平面形状はこれに限られず、例えば円形、正方形、長方形等であってもよい。また、異屈折率領域５８ｂの平面形状は、例えば図５の（ｂ）部に示すように、Ｙ方向に折り返し非対称な形状であってもよい。この場合、垂直方向への消失性干渉が生じにくいので、垂直方向への結合を強くすることが容易になる。

【００５３】

図６は、図１に示すＶＩ－ＶＩ線に沿った断面図であって、回折領域５のＸ方向に沿った側断面を示す。図６に示すように、回折領域５の回折格子層５８、上部クラッド層５６及び半導体層５７は、各サブピクセル２２に対応する複数の単位部分５２に分割されている。具体的には、回折領域５の半導体積層構造５０は、Ｘ方向において複数の単位部分５２と交互に設けられたスリット５０ａを含む。スリット５０ａは、半導体積層構造５０に形成された溝であって、Ｙ方向における回折領域５の全長にわたって延在するとともに、半導体積層構造５０の表面（すなわち半導体層５７の表面）から回折格子層５８に達している。Ｘ方向におけるスリット５０ａの幅は、例えば１μｍ以上１０μｍ以下である。これは、複数の単位部分５２同士の光学的な分離を可能とする幅である。

【００５４】

再び図２を参照する。吸収領域６は、領域１０ａｄ上に設けられた半導体積層構造６０を有する。半導体積層構造６０は、領域１０ａｄ上に設けられた下部クラッド層６４と、下部クラッド層６４上に設けられた光吸収層６５と、光吸収層６５上に設けられた上部クラッド層６６と、上部クラッド層６６上に設けられたコンタクト層６７とを含む。光吸収層６５は、ゲイン領域３の活性層３５と同じ高さ位置に互いに隣り合って設けられ、活性層３５と光学的に結合されている。光吸収層６５の屈折率は下部クラッド層６４及び上部クラッド層６６の屈折率より大きく、光吸収層６５のバンドギャップは下部クラッド層６４及び上部クラッド層６６のバンドギャップより小さい。また、半導体積層構造６０は、半導体層６８を更に含む。半導体層６８は、下部クラッド層６４と光吸収層６５との間、または光吸収層６５と上部クラッド層６６との間に設けられる。図示例では、半導体層６８は光吸収層６５と上部クラッド層６６との間に設けられている。コンタクト層６７上には、電極６３が設けられている。電極６３は、コンタクト層６７とオーミック接触を成す。基板１０の裏面１０ｂ上には、裏面電極６９が設けられている。裏面電極６９は、基板１０とオーミック接触を成す。なお、吸収領域６は、複数のピクセル２１に対応する複数の部分に分割されなくてもよい。

【００５５】

半導体積層構造３０と半導体積層構造６０との間には、高抵抗領域（または絶縁領域）７３が設けられている。高抵抗領域７３は、半導体積層構造３０，６０よりも高抵抗の領域であって、ゲイン領域３と吸収領域６との境界全体にわたって延在するとともに、半導体積層構造３０，６０の表面（すなわちコンタクト層３７，６７の表面）から下部クラッド層３４，６４に達している。Ｙ方向における高抵抗領域７３の幅は、例えば０．１μｍ以上２μｍ以下である。これは、活性層３５と光吸収層６５との光結合を妨げることなく、半導体積層構造３０，６０の電気的な分離を可能とする幅である。

【００５６】
下部クラッド層３４、４４、５４、及び６４は、共通の半導体層により構成されてもよい。換言すると、下部クラッド層３４、４４、５４、及び６４は、それぞれ同じ厚さ及び組成を有してもよい。活性層３５、光吸収層４５、光導波層５５、及び光吸収層６５は、共通の半導体層により構成されてもよい。換言すると、活性層３５、光吸収層４５、光導波層５５、及び光吸収層６５は、それぞれ同じ厚さ、層構造及び組成を有してもよい。上部クラッド層３６、４６、５６、及び６６は、共通の半導体層により構成されてもよい。換言すると、上部クラッド層３６、４６、５６、及び６６は、それぞれ同じ厚さ及び組成を有してもよい。コンタクト層３７、４７、６７、及び半導体層５７は、共通の半導体層により構成されてもよい。換言すると、コンタクト層３７、４７、６７、及び半導体層５７は、それぞれ同じ厚さ及び組成を有してもよい。半導体層３８、４８、６８、及び回折格子層５８の基本層５８ａは、共通の半導体層により構成されてもよい。換言すると、半導体層３８、４８、６８、及び基本層５８ａは、それぞれ同じ厚さ及び組成を有してもよい。裏面電極３９、４９、６９、及び反射ミラー５９は、共通の金属膜により構成されてもよい。換言すると、裏面電極３９、４９、６９、及び反射ミラー５９は、それぞれ同じ厚さ、層構造及び構成材料を有してもよい。電極３３、４３、及び６３は、それぞれ同じ厚さ、層構造及び構成材料を有してもよい。

【００５７】
基板１０、並びに下部クラッド層３４、４４、５４、及び６４は、第１導電型（例えばｎ型）を有する。上部クラッド層３６、４６、５６、及び６６、並びにコンタクト層３７、４７、６７、及び半導体層５７は、第２導電型（例えばｐ型）を有する。光源モジュール１Ａの具体的な実施例を以下に示す。

【００５８】
基板１０：ｎ型ＧａＡｓ基板
下部クラッド層３４、４４、５４、及び６４：ｎ型ＡｌＧａＡｓ（屈折率３．３９、厚さ０．５μｍ以上５μｍ以下）
活性層３５、光吸収層４５、光導波層５５、及び光吸収層６５：ＩｎＧａＡｓ／ＡｌＧａＡｓ多重量子井戸構造（ＩｎＧａＡｓ層厚さ１０ｎｍ、ＡｌＧａＡｓ層厚さ１０ｎｍ、３周期）
上部クラッド層３６、４６、５６、及び６６：ｐ型ＡｌＧａＡｓ（屈折率３．３９、厚さ０．５μｍ以上５μｍ以下）
コンタクト層３７、４７、６７、及び半導体層５７：ｐ型ＧａＡｓ（厚さ０．０５μｍ以上１μｍ以下）
半導体層３８、４８、６８、及び基本層５８ａ：ｉ型ＧａＡｓ（厚さ０．１μｍ以上２μｍ以下）
裏面電極３９、４９、６９、及び反射ミラー５９：ＧｅＡｕ／Ａｕ
電極３３、４３、及び６３：Ｃｒ／ＡｕまたはＴｉ／Ａｕ
反射防止膜５３：例えばＳｉＮなどのシリコン化合物膜（厚さ０．１μｍ以上０．５μｍ以下）

【００５９】
ここで、光源モジュール１Ａを作製する方法の例について説明する。まず、基板１０の主面１０ａ上に、半導体積層構造３０、４０、５０、及び６０を形成する。具体的には、有機金属気相成長法（MetalOrganic Chemical Vapor Deposition；ＭＯＣＶＤ）を用いて、まず下部クラッド層３４、４４、５４、及び６４をエピタキシャル成長させる。次に、ＭＯＣＶＤを用いて、活性層３５、光吸収層４５、光導波層５５、及び光吸収層６５をエピタキシャル成長させる。続いて、ＭＯＣＶＤを用いて、半導体層３８、４８、６８、及び回折格子層５８の基本層５８ａをエピタキシャル成長させる。

【００６０】
続いて、電子線リソグラフィ技術を用いて、一次元回折格子（例えば図５の（ａ）部を参照）、或いは二次元回折格子（例えば図５の（ｂ）部を参照）に対応する開口を有する

レジストマスクを形成する。そして、このレジストマスクを介してドライエッチング（例えば誘導結合プラズマエッチング）を基本層５８ａに施すことにより、一次元回折格子または二次元回折格子のパターンを有する凹部（異屈折率領域５８ｂ）を基本層５８ａに形成する。その後、ＭＯＣＶＤを用いて、上部クラッド層３６、４６、５６、及び６６を成長させる。次いで、ＭＯＣＶＤを用いて、コンタクト層３７、４７、６７、及び半導体層５７を成長させる。なお、上部クラッド層３６、４６、５６、及び６６を形成する前に、基本層５８ａの凹部を、基本層５８ａと屈折率が異なる半導体により埋め込んで異屈折率領域５８ｂとしてもよい。

【００６１】

続いて、フォトリソグラフィ技術を用いて、高抵抗領域７１～７３に対応する開口を有するレジストマスクを形成する。そして、このレジストマスクを介してイオン注入（例えば酸化イオン注入）を行うことにより、高抵抗領域７１～７３を形成する。なお、高抵抗領域７１～７３の形成に際しては、上記の方法に代えて、レジストマスクを介してドライエッチングを行うことによりスリット（溝）を形成し、該スリットを高抵抗の半導体再成長により埋め込んでもよい。

【００６２】

続いて、プラズマＣＶＤ法を用いて反射防止膜５３の材料からなる表面保護膜を半導体積層構造３０、４０、５０、及び６０の全面に成膜する。その上に、フォトリソグラフィ技術を用いて、スリット５０ａに対応する開口を有するレジストマスクを形成する。そして、このレジストマスクを介してドライエッチングを表面保護膜及び半導体積層構造５０に施すことにより、スリット５０ａを形成する。

【００６３】

続いて、フォトリソグラフィ技術を用いて、電極３３、４３、及び６３に対応する開口を有するレジストマスクを形成する。そして、このレジストマスクを介してウェットエッチングまたはドライエッチングを施すことにより、電極３３、４３、及び６３に対応する開口を表面保護膜に形成する。表面保護膜がシリコン化合物膜である場合、ウェットエッチングのエッチャントとしては例えばバッファードフッ酸が用いられ得る。また、ドライエッチングのエッチングガスとしては例えばCF_4ガスが用いられ得る。

【００６４】

続いて、フォトリソグラフィ技術を用いて、電極３３、４３、及び６３に対応する開口を有するレジストマスクを再び形成する。そして、真空蒸着法により電極３３、４３、及び６３の材料を堆積したのち、リフトオフ法により電極３３、４３、及び６３以外の堆積部分を除去する。続いて、真空蒸着法により基板１０の裏面１０ｂ上に裏面電極３９、４９、６９、及び反射ミラー５９の材料を堆積する。最後に、アニールを行い、電極３３、４３、及び６３並びに裏面電極３９、４９、及び６９を合金化する。以上の工程を経て、本実施形態の光源モジュール１Ａが作製される。

【００６５】

以上に説明した、本実施形態による光源モジュール１Ａによって得られる作用効果について説明する。ゲイン領域３の電極３３と裏面電極３９との間にバイアス電流が供給されると、下部クラッド層３４と上部クラッド層３６との間にキャリアが集まり、活性層３５において光が効率的に発生する。この光は、活性層３５を導波し、活性層３５の両端から誘導放出光として変調領域４及び吸収領域６へ出力される。このとき、誘導放出光は、変調領域４の複数の単位部分４２に、位相が揃った状態で入力される。変調領域４の電極４３と裏面電極４９との間、及び吸収領域６の電極６３と裏面電極６９との間には逆バイアス電圧が印加され、量子閉じ込めシュタルク効果（Quantum Confined Stark Effect：ＱＣＳＥ）により、光吸収層４５，６５において誘導放出光が吸収される。変調領域４においては、逆バイアス電圧の大きさを制御して、誘導放出光の吸収量（減衰率）を調整することにより、誘導放出光の強度を所望の大きさに調整する。電極４３が各単位部分４２毎に独立して設けられているので、このような強度調整を、各単位部分４２において個別に行うことができる。また、吸収領域６においては、逆バイアス電圧を十分な大きさに制御

して、ゲイン領域３においてレーザ発振が生じない程度に誘導放出光を吸収する。

【００６６】

変調領域４によって強度調整された誘導放出光は、変調領域４の複数の単位部分４２それぞれから、回折領域５の複数の単位部分５２それぞれに入力される。誘導放出光は、下部クラッド層５４と上部クラッド層５６との間に閉じ込められつつ回折格子層５８に達する。回折格子層５８では、基板１０の主面１０ａに沿った方向に共振モードが形成され、複数の異屈折率領域５８ｂの配置に応じたモードのレーザ光が生成される。複数の単位部分５２それぞれにおいて生成されたレーザ光は、波数（位相）が揃った状態で、基板１０の主面１０ａと交差する方向（Ｚ方向）に進む。光出射面２は、回折領域５に対して該方向（本実施形態では回折領域５の上面）に設けられているので、Ｚ方向に進んだレーザ光は、そのまま光出射面２の複数のサブピクセル２２を通じて光源モジュール１Ａの外部へ出力されるか、または、反射ミラー５９において反射したのち光出射面２の複数のサブピクセル２２を通じて光源モジュール１Ａの外部へ出力される。

【００６７】

ここで、図２５は、非特許文献１に記載された技術を説明するための図である。図２５の（ａ）部～（ｄ）部には、一方向に並ぶ４つのサブピクセル１０２からなるピクセル１０１が示されており、各サブピクセル１０２の反射率がハッチングの粗密により表現されている。ここでは、ハッチングが粗いほど反射率が大きい（すなわち反射光の光強度が大きい）ものとする。サブピクセル１０２の配列方向におけるピクセル１０１のサイズが反射光の波長よりも小さい場合、４つのサブピクセル１０２を纏めて、等価的に単一の位相を有する一つの画素と見なすことができる。そして、４つのサブピクセル１０２からの反射光の位相が互いに揃っている場合、ピクセル１０１から出力される光の位相は、４つのサブピクセル１０２の強度分布によって定まる。例えば、４つのサブピクセル１０２が左から０°、９０°、１８０°、及び２７０°の各位相に対応しているとする。この場合、図２５の（ａ）部に示すように、１８０°及び２７０°にそれぞれ対応する２つのサブピクセル１０２から反射光を出力せず、０°及び９０°にそれぞれ対応する２つのサブピクセル１０２の反射光の強度比を制御することにより、図２５の（ｅ）部に示すように、ピクセル１０１から出力される光の位相θを０°と９０°との間の任意の値に制御することができる。また、図２５の（ｂ）部に示すように、９０°及び１８０°にそれぞれ対応する２つのサブピクセル１０２から反射光を出力せず、０°及び２７０°にそれぞれ対応する２つのサブピクセル１０２の反射光の強度比を制御することにより、図２５の（ｆ）部に示すように、ピクセル１０１から出力される光の位相θを２７０°と０°（３６０°）との間の任意の値に制御することができる。また、図２５の（ｃ）部に示すように、０°及び９０°にそれぞれ対応する２つのサブピクセル１０２から反射光を出力せず、１８０°及び２７０°にそれぞれ対応する２つのサブピクセル１０２の反射光の強度比を制御することにより、図２５の（ｇ）部に示すように、ピクセル１０１から出力される光の位相θを１８０°と２７０°との間の任意の値に制御することができる。また、図２５の（ｄ）部に示すように、０°及び２７０°にそれぞれ対応する２つのサブピクセル１０２から反射光を出力せず、９０°及び１８０°にそれぞれ対応する２つのサブピクセル１０２の反射光の強度比を制御することにより、図２５の（ｈ）部に示すように、ピクセル１０１から出力される光の位相θを９０°と１８０°との間の任意の値に制御することができる。

【００６８】

図２６は、非特許文献２に記載された技術を説明するための図である。図２６の（ａ）部には、一方向に並ぶ３つのサブピクセル２０２からなるピクセル２０１が示されており、各サブピクセル２０２の反射率がハッチングの粗密により表現されている。図２５と同様に、サブピクセル１０２の配列方向におけるピクセル２０１のサイズは、入射光の波長よりも小さい。非特許文献２には、３つのサブピクセル２０２からの反射光の位相が互いに揃っている場合、ピクセル２０１から出力される光の位相は、３つのサブピクセル２０２の強度分布によって定まることが述べられている。例えば、３つのサブピクセル２０２

が左から０°、１２０°、及び２４０°の各位相に対応しているとする。この場合、例えば、図２６の（ｂ）部に示すように、１２０°に対応するサブピクセル２０２から反射光を出力せず、０°及び２４０°にそれぞれ対応する２つのサブピクセル２０２の反射光の強度比を制御することにより、ピクセル２０１から出力される光の位相θを２４０°と０°（３６０°）の間の任意の値に制御することができる。なお、３つのサブピクセルのうち１つの強度は必ず０となる。

【００６９】

但し、図２５及び図２６に示された方式では、サブピクセル１０２，２０２の光反射率は制御不能な固定値であるため、ピクセル１０１，２０１の出力位相を動的に制御することができない。これに対し、本実施形態の光源モジュール１Ａでは、各ピクセル２１に含まれる少なくとも３つのサブピクセル２２から出力する誘導放出光の強度を、各サブピクセル２２毎に独立して制御することができる。また、サブピクセル２２の配列方向（Ｘ方向）における各ピクセル２１のサイズＬが、誘導放出光の波長よりも小さい。この場合、少なくとも３つのサブピクセル２２を纏めて、等価的に単一の位相を有する画素と見なすことができる。また、少なくとも３つのサブピクセル２２から出力される誘導放出光の位相が互いに揃っているので、各ピクセル２１から出力される誘導放出光の位相は、少なくとも３つのサブピクセル２２の強度分布によって定まる。従って、本実施形態の光源モジュール１Ａによれば、光の位相分布を動的に制御することができる。

【００７０】

本実施形態のように、光源モジュール１Ａは、主面１０ａを有する基板１０を備え、主面１０ａは領域１０ａａ及び１０ａｂを含み、ゲイン領域３は、領域１０ａａ上に設けられた下部クラッド層３４、活性層３５、及び上部クラッド層３６を含む半導体積層構造３０を有し、変調領域４は、領域１０ａｂ上に設けられた下部クラッド層４４、活性層３５と光学的に結合された光吸収層４５、及び上部クラッド層４６を含む半導体積層構造４０を有し、光吸収層４５及び上部クラッド層４６が複数の単位部分４２に電気的に分割されてもよい。この場合、ゲイン領域３及び変調領域４を、半導体素子を用いて小型に構成することができる。

【００７１】

本実施形態のように、基板１０の主面１０ａは、領域１０ａａとの間に領域１０ａｂを挟む位置に設けられた領域１０ａｃを更に含み、光源モジュール１Ａは、領域１０ａｃ上に設けられた回折領域５を備えてもよい。そして、回折領域５は、領域１０ａｃ上に設けられた下部クラッド層５４、変調領域４の光吸収層４５と光学的に結合された光導波層５５、上部クラッド層５６、及び回折格子層５８を含む半導体積層構造５０を有し、変調領域４から光導波層５５を介して受けた誘導放出光を主面１０ａと交差する方向（Ｚ方向）に出力し、光出射面２は回折領域５に対して該方向に設けられ、回折領域５の回折格子層５８及び上部クラッド層５６は、各サブピクセル２２に対応する複数の単位部分５２に分割されてもよい。この場合、半導体素子を用いてゲイン領域３及び変調領域４を構成したときに、強度調整後の誘導放出光を基板１０の主面１０ａと交差する方向に出力することができる。故に、複数のピクセル２１を容易に集積化することが可能であり、複数のピクセル２１の配列の自由度を高めることができる。

【００７２】

本実施形態のように、回折領域５の半導体積層構造５０は、回折領域５の複数の単位部分５２と交互に形成されたスリット５０ａを有してもよい。例えばこのような構成により、回折領域５の光導波層５５及び上部クラッド層５６を、各サブピクセル２２に対応する複数の単位部分５２に容易に分割することができる。

【００７３】

本実施形態のように、変調領域４の半導体積層構造４０は、変調領域４の複数の単位部分４２と交互に設けられた高抵抗領域７２を含んでもよい。例えばこのような構成により、複数の単位部分４２を相互に電気的に分離し、複数の単位部分４２それぞれにおいて誘導放出光の強度調整量を個別に制御することができる。

【００７４】
本実施形態のように、基板１０の主面１０ａは、領域１０ａｂとの間に領域１０ａａを挟む位置に設けられた領域１０ａｄを更に含み、光源モジュール１Ａは、領域１０ａｄ上に設けられた吸収領域６を更に備えてもよい。そして、吸収領域６は、領域１０ａｄ上に設けられた下部クラッド層６４、活性層３５と光学的に結合された光吸収層６５、及び上部クラッド層６６を含む半導体積層構造６０を有してもよい。この場合、半導体素子を用いてゲイン領域３を構成した場合のレーザ発振を抑制することができる。故に、光出射面２から出力される誘導放出光に含まれるスペックルノイズを低減することができる。
【００７５】
（第１変形例）
図７は、上記第１実施形態の第１変形例に係る光源モジュール１Ｂを示す断面図であって、図１のＩＩ－ＩＩ線に沿った断面に対応する断面を示す。本変形例の光源モジュール１Ｂは、第１実施形態の半導体積層構造３０、４０、５０、及び６０に代えて、半導体積層構造３０Ａ、４０Ａ、５０Ａ、及び６０Ａを備える。半導体積層構造３０Ａ、４０Ａ、５０Ａ、及び６０Ａの層構造は、半導体層３８、４８、６８、及び回折格子層５８を含まない点を除いて、第１実施形態の半導体積層構造３０、４０、５０、及び６０と同様である。
【００７６】
回折領域５の半導体積層構造５０Ａは、回折格子層５８を含まない代わりに、半導体積層構造５０Ａの上面（すなわち半導体層５７の上面）から上部クラッド層５６に達する複数の溝（または複数の凹部）５０ｂを有する。複数の溝または凹部５０ｂの平面形状及び分布は、第１実施形態の異屈折率領域５８ｂと同様である。すなわち、上部クラッド層５６の厚さ方向の一部及びコンタクト層４７は、複数の異屈折率領域としての複数の溝または凹部５０ｂを有することにより、回折格子層として機能する。この場合であっても、第１実施形態の回折領域５と同様の作用効果を奏することができる。なお、本変形例では、活性層３５、光吸収層４５、６５、及び光導波層５５を成長させたのち、上部クラッド層３６、４６、５６、及び６６、並びにコンタクト層３７、４７、６７、及び半導体層５７を連続して成長させることができる。異屈折率領域としての溝または凹部５０ｂは、その後にドライエッチングにより形成すればよい。この場合、ＭＯＣＶＤ装置を用いた積層工程が１回で済むためプロセス工程を簡略化することが可能となる。
【００７７】
（第２変形例）
図８は、上記第１実施形態の第２変形例に係る光源モジュール１Ｃを示す断面図であって、図１のＩＩ－ＩＩ線に沿った断面に対応する断面を示す。本変形例では、第１実施形態と異なり、各ピクセル２１のサイズＬが、ゲイン領域３から出力される誘導放出光の波長より大きい。そして、単位部分４２，５２の配列方向（Ｘ方向）における各部分４１，５１（図１を参照）の幅が、ゲイン領域３から出力される誘導放出光の波長よりも大きい。また、本変形例の光源モジュール１Ｃは、第１実施形態の構成に加えて、光出射面２と光学的に結合された縮小光学系８０を更に備える。縮小光学系８０は、入射側の像を出射側に結像させ、且つ出射側での像のサイズが入射側よりも小さくなるような光学系であって、例えば一対のレンズ８１，８２を含む。一対のレンズ８１，８２は、回折領域５から出力される誘導放出光の光軸に沿った方向に並んで配置されており、レンズ８１，８２間の距離は、レンズ８１，８２の焦点距離の和に等しい。従って、レンズ８１，８２の間において誘導放出光は一旦収束したのち発散し、レンズ８２から縮小された状態で出力される。
【００７８】
本変形例では、縮小光学系８０を通過した後の或る位置（例えば縮小光学系８０を通過した直後）において、サブピクセル２２の配列方向における各ピクセル２１からの光束の幅が、ゲイン領域３から出力される誘導放出光の波長よりも小さくなるように、縮小光学系８０の縮小率が設定されている。例えば本変形例のような構成であっても、上記第１実

施形態と同様の作用効果を奏することができる。また、この場合、各ピクセル２１のサイズＬを誘導放出光の波長より大きくすることが可能となる。従って、Ｘ方向における各部分３１，４１，及び５１の幅を、導波モードが十分に形成される程度に大きくすることが可能となり、具体的な構造の選択肢が広がるという利点がある。

【００７９】

（第３変形例）

図９は、上記第１実施形態の第３変形例に係る光源モジュール１Ｄを示す平面図である。本変形例では、ゲイン領域３Ａと、変調領域４及び回折領域５とが、基板１０上において互いに離れて配置されている。本変形例のゲイン領域３Ａは、複数の部分３１（図１を参照）に分割されておらず、単一の部分から成る。なお、ゲイン領域３Ａの他の構成は、第１実施形態のゲイン領域３と同様である。そして、光源モジュール１Ｄは、基板１０の主面１０ａ上に設けられた光導波路１１を更に備える。光導波路１１は、例えば主面１０ａ上に形成されたシリコン導波路であって、その平面形状は扇型に広がっている。ゲイン領域３Ａの光出力端面は、光導波路１１の中心点側の一端と光学的に結合されている。一実施例では、ゲイン領域３Ａの光出力端面は、光導波路１１の中心点側の一端に位置する。また、変調領域４の光入力端面は、光導波路１１の円弧側の他端と光学的に結合されている。一実施例では、変調領域４の光入力端面は、光導波路１１の円弧側の他端に位置する。そして、変調領域４の複数の単位部分４２の光入力端面４２ａは、光導波路１１を導波する誘導放出光の何れかの等位相面Ｐに沿って並んで配置されている。等位相面Ｐは円弧状であるため、複数の単位部分４２の光入力端面４２ａは、Ｙ方向において互いにずれた位置に設けられる。

【００８０】

本変形例のように、複数の単位部分４２の光入力端面４２ａを等位相面Ｐに沿って並んで配置することにより、複数の単位部分４２に入力される誘導放出光の位相を容易に揃えることができる。従って、少なくとも３つのサブピクセル２２から出力される誘導放出光の位相を容易に揃えることができる。

【００８１】

（第４変形例）

図１０は、上記第１実施形態の第４変形例に係る光源モジュール１Ｅを示す平面図である。光源モジュール１Ｅは、ゲイン領域３に代えてフォトニック結晶レーザ（ＰＣＳＥＬ）構造３Ｂを備える点で第１実施形態と相違し、他の点において第１実施形態と一致する。フォトニック結晶レーザ構造３Ｂは、本変形例における発光部である。フォトニック結晶レーザ構造３Ｂは、図２に示した半導体層３８の内部に二次元の回折格子を有する。例えば、フォトニック結晶レーザ構造３Ｂは、複数の異屈折率領域３８ｂを半導体層３８の内部に有する。異屈折率領域３８ｂの屈折率は、半導体層３８の他の部分の屈折率と異なる。複数の異屈折率領域３８ｂは、半導体層３８内においてＸ方向及びＹ方向に一定の周期で配置されている。複数の異屈折率領域３８ｂは、空孔であってもよく、半導体層３８の他の部分と異なる屈折率を有する半導体が埋め込まれることにより構成されてもよい。また、フォトニック結晶レーザ構造３Ｂは、第１実施形態のゲイン領域３と異なり、複数の部分３１に分割されておらず単一の部分により構成されている。従って、コンタクト層３７上には、単一の電極３３Ｂが設けられる。電極３３Ｂは、コンタクト層３７とオーミック接触を成す。

【００８２】

複数の異屈折率領域３８ｂは、活性層３５の発光波長に対してＭ点発振の条件を満たす配置及び間隔を有する。ここで、図１１は、実空間（ａ），（ｂ）及び逆格子空間（ｃ），（ｄ）におけるΓ点及びＭ点を説明するための図である。同図中の円は、上述の異屈折率領域３８ｂを示している。

【００８３】

図１１の（ａ）部は、ＸＹＺ三次元直交座標系を設定した実空間において、異屈折率領域３８ｂが正方格子の格子枠の開口中心に位置している場合を示す。正方格子の格子間隔

はａであり、Ｘ軸方向及びＹ軸方向に隣接する異屈折率領域３８ｂの間の重心間間隔もａである。半導体層３８におけるΓ点での発光は、発光波長をλ、出力光の半導体層３８における実効屈折率をｎとすると、λ／ｎがａに一致した場合に生じる。このときＺ軸方向にレーザ光が出射される。図１１の（ｃ）部は、図１１の（ａ）部の格子の逆格子を示しており、縦方向（Γ－Ｙ）又は横方向（Γ－Ｘ）に沿って隣接する異屈折率領域３８ｂ間の間隔は２π／ａであるが、２π／ａは２ｎπ／λに一致している（ｎは半導体層３８の実効屈折率）。

【００８４】

図１１の（ｂ）部は、ＸＹＺ三次元直交座標系を設定した実空間において、異屈折率領域３８ｂが正方格子の格子枠の開口中心に位置している場合を示し、正方格子の格子間隔はａ、Ｘ軸方向及びＹ軸方向に隣接する異屈折率領域３８ｂの間の重心間間隔は√２・ａであり、発光波長λを実効屈折率ｎで割った値λ／ｎはａの√２倍（$\lambda/n=a\times 2^{0.5}$）である。この場合、半導体層３８においては、Ｍ点での発振が生じる。このときＸ軸方向およびＹ軸方向にレーザ光が出射され、Ｚ軸方向にレーザ光は出射されない。図１１の（ｄ）部は、図１１の（ｂ）部の格子の逆格子を示しており、Γ－Ｍ方向に沿って隣接する異屈折率領域３８ｂ間の間隔は（$2^{0.5}\pi$）／ａであり、２ｎπ／λに一致している（ｎは半導体層３８の実効屈折率）。なお、図１１における白抜きの矢印は、光の波の振動方向を示している。

【００８５】

本変形例によれば、フォトニック結晶レーザ構造３ＢからＹ軸方向にレーザ光が出射するので、複数の単位部分４２に入力される誘導放出光の位相を容易に揃えることができる。本変形例においても、第１実施形態と同様の作用効果を奏することができる。なお、上記の例では異屈折率領域３８ｂが正方格子の格子枠の開口中心に位置している場合を示したが、異屈折率領域３８ｂは、他の格子（例えば三角格子）の格子枠の開口中心に位置してもよい。

【００８６】

（第５変形例）

図１２は、上記第１実施形態の第５変形例に係る光源モジュール１Ｆを示す平面図である。光源モジュール１Ｆは、変調領域４の単位部分４２の配列方向（Ｘ方向）における各部分４１の幅がサイズＬより大きく、フォトニック結晶レーザ構造３Ｂから出力されるレーザ光の波長よりも大きい点、及び縮小光学系８を備える点で第１実施形態と相違し、他の点において第１実施形態と一致する。縮小光学系８はＹ方向において変調領域４と回折領域５との間に設けられ、Ｙ方向における縮小光学系８の一端は変調領域４と光学的に結合され、他端は回折領域５と光学的に結合されている。縮小光学系８は、変調領域４から出力された誘導放出光を回折領域５へ導波する。

【００８７】

より詳細には、縮小光学系８は、複数のピクセル２１にそれぞれ対応する複数の部分８３を含む。図において、複数の部分８３は太い実線により区画して示されている。各部分８３の平面形状は、Ｙ方向を高さ方向とする台形である。複数の部分８３は、Ｘ方向に並んで配置され、互いに隣接している。各部分８３の一端は、変調領域４の各部分４１と一対一で対応しており、各部分４１と光学的に結合されている。一例では、縮小光学系８の各部分８３と変調領域４の各部分４１とはＹ方向において互いに隣接している。また、各部分８３の他端は、回折領域５の各部分５１と一対一で対応しており、各部分５１と光学的に結合されている。一例では、縮小光学系８の各部分８３と回折領域５の各部分５１とはＹ方向において互いに隣接している。更に、各部分８３は、Ｘ方向において、少なくとも３つの単位部分８４に分割されている。各単位部分８４は、光出射面２の各サブピクセル２２と一対一で対応している。少なくとも３つの単位部分８４は、Ｘ方向に並んで配置され、互いに隣接している。各部分８３の一端において、単位部分８４の配列方向（Ｘ方向）における各部分８３の幅は、変調領域４の各部分４１の幅と等しい。また、各部分８３の他端において、単位部分８４の配列方向（Ｘ方向）における各部分８３の幅は、回折

領域５の各部分５１の幅（すなわちサイズＬ）と等しい。すなわち、各単位部分８４の幅は、一端側から他端側に向けて次第に縮小している。

【００８８】

本変形例においても、サブピクセル２２の配列方向（Ｘ方向）における各ピクセル２１のサイズＬが誘導放出光の波長よりも小さいので、第１実施形態と同様の作用効果を奏することができる。更に、縮小光学系８が設けられることによって、単位部分４２の配列方向（Ｘ方向）における各部分４１の幅を、誘導放出光の波長よりも大きくすることができる。故に、変調領域４の作製を容易にできる。また、回折領域５において単位部分５２の配列方向（Ｘ方向）における各部分５１の幅を、誘導放出光の波長よりも小さくすることが容易にできる。この場合、図８に示したような縮小光学系８０を設ける必要がなく、光源モジュールの簡略化及び小型化が可能となる。

【００８９】

（第２実施形態）

図１３は、本開示の第２実施形態に係る光源モジュール１Ｇの構成を概略的に示す平面図である。光源モジュール１Ｇは、共通の基板上に形成された半導体積層構造を含んで構成され、光出射面２、ゲイン領域３Ｃ、回折領域５、及び吸収領域６を備える。なお、光出射面２、回折領域５、及び吸収領域６の構成は、上述した第１実施形態と同様である。

【００９０】

ゲイン領域３Ｃは、複数のピクセル２１にそれぞれ対応する複数の部分３１を含む。図において、複数の部分３１は太い実線により区画して示されている。各部分３１の平面形状は、Ｙ方向を長手方向とする長方形である。複数の部分３１は、Ｘ方向に並んで配置され、互いに隣接している。各部分３１は、Ｘ方向において、少なくとも３つの単位部分３２に分割されている。各単位部分３２は、光出射面２の各サブピクセル２２と一対一で対応している。少なくとも３つの単位部分３２は、Ｙ方向を長手方向とし、Ｘ方向に並んで配置され、互いに隣接している。単位部分３２の配列方向（Ｘ方向）における各部分３１の幅は、ゲイン領域３Ｃが出力する誘導放出光の波長よりも小さい。ゲイン領域３Ｃは、各単位部分３２毎に設けられた電極３３を有する。各単位部分３２は、電極３３を介して供給される電流により発光し、誘導放出光をＹ方向に出力する。ゲイン領域３Ｃは、単位部分３２毎に設けられた電極３３と裏面電極３９との間に印加される電圧に応じて、誘導放出光の強度を単位部分３２毎に個別に制御する。

【００９１】

図１４は、図１３に示すＸＩＶ－ＸＩＶ線に沿った断面図であって、光源モジュール１ＧのＹ方向に沿った側断面を示す。図１４に示すように、光源モジュール１Ｇにおいて、基板１０の主面１０ａは、領域１０ａａ（第１の領域）、領域１０ａｃ（第２の領域）、及び領域１０ａｄ（第３の領域）を含む。領域１０ａａ及び領域１０ａｃは、Ｙ方向に並んでいる。領域１０ａｄは、領域１０ａｂとの間に領域１０ａａを挟む位置に設けられ、領域１０ａｄ、領域１０ａａ及び領域１０ａｃはＹ方向においてこの順に並んでいる。回折領域５は、領域１０ａｃ上に設けられた半導体積層構造５０を有する。吸収領域６は、領域１０ａｄ上に設けられた半導体積層構造６０を有する。半導体積層構造５０，６０の構成は、上述した第１実施形態と同様である。

【００９２】

ゲイン領域３Ｃは、領域１０ａａ上に設けられた半導体積層構造３０Ｃを有する。半導体積層構造３０Ｃは、次の点を除いて、第１実施形態の半導体積層構造３０と同様の構成を有する。図１５は、図１３に示すＸＶ－ＸＶ線に沿った断面図であって、ゲイン領域３ＣのＸ方向に沿った側断面を示す。図１５に示すように、ゲイン領域３Ｃの半導体積層構造３０Ｃにおいて、活性層３５、上部クラッド層３６及びコンタクト層３７は、複数の単位部分３２に電気的に分割されている。具体的には、半導体積層構造３０Ｃは、複数の単位部分３２と交互に設けられた高抵抗領域７４を含む。高抵抗領域７４は、半導体積層構造３０Ｃの他の半導体層よりも高抵抗の領域であって、Ｙ方向におけるゲイン領域３Ｃの全長にわたって延在するとともに、半導体積層構造３０Ｃの表面（すなわちコンタクト層

３７の表面）から下部クラッド層３４に達している。また、隣接する単位部分３２同士において互いに干渉してスーパーモードを形成し得るように、単位部分３２同士の間隔（すなわちＸ方向における高抵抗領域７４の幅）は誘導放出光の波長程度となっている。これにより、複数の単位部分３２間で誘導放出光の位相を揃えることができる。また、隣接する単位部分３２間で光が漏れ出しやすいように、高抵抗領域７４は各層３５～３８よりも高い屈折率を有するか、または各層３５～３８と同一の屈折率を有する。

【００９３】

本実施形態による光源モジュール１Ｇによって得られる作用効果について説明する。ゲイン領域３Ｃの電極３３と裏面電極３９との間に駆動電流が供給されると、下部クラッド層３４と上部クラッド層３６との間にキャリアが集まり、活性層３５において光が効率的に発生する。この光は、活性層３５を導波し、活性層３５の両端から誘導放出光として回折領域５及び吸収領域６へ出力される。このとき、ゲイン領域３Ｃにおいては、駆動電流の大きさを制御して、誘導放出光の出力強度を所望の大きさに調整する。電極３３が各単位部分３２毎に独立して設けられているので、このような強度調整を、各単位部分３２において個別に行うことができる。各単位部分３２毎に強度調整された誘導放出光は、回折領域５の各単位部分５２に、位相が揃った状態で入力される。また、吸収領域６においては、逆バイアス電圧を十分な大きさに制御して、ゲイン領域３Ｃにおいてレーザ発振が生じない程度に誘導放出光を吸収する。回折領域５の各単位部分５２に入力した誘導放出光は、波数（位相）が揃った状態で基板１０の主面１０ａと交差する方向（Ｚ方向）に進み、光出射面２の複数のサブピクセル２２を通じて光源モジュール１Ｇの外部へ出力される。

【００９４】

本実施形態の光源モジュール１Ｇにおいても、第１実施形態と同様に、各ピクセル２１に含まれる少なくとも３つのサブピクセル２２から出力する誘導放出光の強度を、各サブピクセル２２毎に独立して制御することができる。また、サブピクセル２２の配列方向（Ｘ方向）における各ピクセル２１のサイズＬは、誘導放出光の波長よりも小さい。従って、本実施形態の光源モジュール１Ｇによれば、光の位相分布を動的に制御することができる。

【００９５】

本実施形態のように、ゲイン領域３Ｃは、領域１０ａａ上に設けられた下部クラッド層３４、活性層３５、及び上部クラッド層３６を含む半導体積層構造３０Ｃを有し、活性層３５及び上部クラッド層３６が複数の単位部分３２に電気的に分割されてもよい。この場合、ゲイン領域３Ｃを、半導体素子を用いて小型に構成することができる。

【００９６】

本実施形態のように、光源モジュール１Ｇは、領域１０ａｃ上に設けられた回折領域５を備えてもよい。そして、回折領域５は、第１実施形態と同様の半導体積層構造５０を有してもよい。この場合、半導体素子を用いてゲイン領域３Ｃを構成したときに、強度が調整された誘導放出光を基板１０の主面１０ａと交差する方向に出力することができる。故に、複数のピクセル２１を容易に集積化することが可能であり、複数のピクセル２１の配列の自由度を高めることができる。

【００９７】

本実施形態のように、ゲイン領域３Ｃの半導体積層構造３０Ｃは、複数の単位部分３２と交互に設けられた高抵抗領域７４を含んでもよい。例えばこのような構成により、複数の単位部分３２を相互に電気的に分離し、複数の単位部分３２それぞれにおいて誘導放出光の出力強度を個別に制御することができる。

【００９８】

なお、本実施形態では、Ｘ方向における回折領域５の各部分５１の幅（すなわちサブピクセル２２の配列方向における各ピクセル２１のサイズＬ）を、誘導放出光の波長より大きくすることもできる。その場合、図８に示した縮小光学系８０を用いるとよい。縮小光学系８０を通過した後の或る位置において、光出射面２のサブピクセル２２の配列方向に

おける各ピクセル２１からの光束の幅を誘導放出光の波長よりも小さくする（言い換えると、複数のピクセルの実効的なサイズを誘導放出光の波長よりも小さくする）ことによって、上述した効果を奏することができる。

【００９９】

（第６変形例）

図１６は、上記第２実施形態の第６変形例に係る光源モジュール１Ｈを示す断面図であって、図１３のＸＩＶ－ＸＩＶ線に沿った断面に対応する断面を示す。本変形例では、第２実施形態と異なり、各ピクセル２１のサイズＬが、ゲイン領域３Ｃから出力される誘導放出光の波長より大きい。そして、単位部分５２の配列方向（Ｘ方向）における各部分５１（図１３を参照）の幅が、ゲイン領域３Ｃから出力される誘導放出光の波長よりも大きい。また、本変形例の光源モジュール１Ｈは、第２実施形態の構成に加えて、光出射面２と光学的に結合された縮小光学系８０を更に備える。縮小光学系８０の構成は、前述した第２変形例（図８を参照）と同様である。

【０１００】

本変形例では、縮小光学系８０を通過した後の或る位置（例えば縮小光学系８０を通過した直後）において、サブピクセル２２の配列方向における各ピクセル２１からの光束の幅が、ゲイン領域３Ｃから出力される誘導放出光の波長よりも小さくなるように、縮小光学系８０の縮小率が設定される。例えば本変形例のような構成であっても、上記第２実施形態と同様の作用効果を奏することができる。また、この場合、Ｘ方向における各部分３１，５１の幅を誘導放出光の波長より大きくすることが可能となる。従って、各部分３１，５１の幅を、導波モードが十分に形成される程度に大きくすることが可能となり、具体的な構造の選択肢が広がる。

【０１０１】

（第３実施形態）

図１７の（ａ）部は、本開示の第３実施形態に係る光源モジュール１Ｊの構成を概略的に示す平面図である。また、図１７の（ｂ）部は、光源モジュール１ＪをＹ方向から見た概略的な側面図である。図１８は、図１７の（ａ）部に示すＸＶＩＩＩ－ＸＶＩＩＩ線に沿った断面図であって、光源モジュール１ＪのＹ方向に沿った側断面を示す。光源モジュール１Ｊは、光出射面２Ａ、ゲイン領域３Ｄ及び光導波領域９を備える。ゲイン領域３Ｄは、主面１０ａの領域１０ａａ（第１の領域）上に形成された半導体積層構造３０Ｄを含んで構成される。なお、ゲイン領域３Ｄの構成は、半導体積層構造３０Ｄが半導体層３８を含んでいない点を除き、上述した第２実施形態と同様である。光導波領域９は、主面１０ａの領域１０ａａに対してＹ方向に並ぶ領域１０ａｅ上に形成された半導体積層構造９０を含んで構成される。半導体積層構造９０は、領域１０ａｅ上に設けられた下部クラッド層９４と、下部クラッド層９４上に設けられた光導波層９５と、光導波層９５上に設けられた上部クラッド層９６と、上部クラッド層９６上に設けられた半導体層９７とを含む。光導波層９５は、ゲイン領域３Ｄの活性層３５と同じ高さ位置に互いに隣り合って設けられ、活性層３５と光学的に結合されている。基板１０の裏面１０ｂ上には、金属膜９９が設けられている。

【０１０２】

下部クラッド層３４及び９４は、共通の半導体層により構成されてもよい。換言すると、下部クラッド層３４及び９４は、それぞれ同じ厚さ及び組成を有してもよい。活性層３５及び光導波層９５は、共通の半導体層により構成されてもよい。換言すると、活性層３５及び光導波層９５は、それぞれ同じ厚さ、層構造及び組成を有してもよい。上部クラッド層３６及び９６は、共通の半導体層により構成されてもよい。換言すると、上部クラッド層３６及び９６は、それぞれ同じ厚さ及び組成を有してもよい。コンタクト層３７及び半導体層９７は、共通の半導体層により構成されてもよい。換言すると、コンタクト層３７及び半導体層９７は、それぞれ同じ厚さ及び組成を有してもよい。裏面電極３９及び金属膜９９は、共通の金属膜により構成されてもよい。換言すると、裏面電極３９及び金属膜９９は、それぞれ同じ厚さ、層構造及び構成材料を有してもよい。

【０１０３】
本実施形態の光出射面２Ａは、Ｙ方向における光導波領域９の端面により構成される。すなわち、光出射面２Ａは、光導波領域９を介してゲイン領域３Ｄと光学的に結合されている。光出射面２Ａは、一次元状に配列された複数のピクセル２３を有する。図示例では、複数のピクセル２３はＸ方向に並んで配置され、互いに隣接している。各ピクセル２３は、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセル２４を含む。図示例では、各ピクセル２３において３つのサブピクセル２４がＸ方向に配列されている。サブピクセル２４の配列方向（Ｘ方向）における各ピクセル２３のサイズＬは、ゲイン領域３Ｄから出力される光の波長よりも小さい。
【０１０４】
ゲイン領域３Ｄの電極３３と裏面電極３９との間に駆動電流が供給されると、活性層３５において光が効率的に発生する。この光は、活性層３５を導波しつつレーザ発振し、誘導放出光の一種であるレーザ光として活性層３５の一端面から出力される。ゲイン領域３Ｄにおいては、電極３３が各単位部分３２毎に独立して設けられているので、駆動電流の大きさを制御して、レーザ光の出力強度を各単位部分３２において個別に調整することができる。各単位部分３２毎に強度調整されたレーザ光は、位相が揃った状態で、光導波層９５を通過し、光出射面２Ａの複数のサブピクセル２４を通じて光源モジュール１Ｊの外部へ出力される。
【０１０５】
本実施形態の光源モジュール１Ｊにおいても、第１実施形態と同様に、各ピクセル２３に含まれる少なくとも３つのサブピクセル２４から出力する誘導放出光（レーザ光）の強度を、各サブピクセル２４毎に独立して制御することができる。また、サブピクセル２４の配列方向（Ｘ方向）における各ピクセル２３のサイズＬは、誘導放出光（レーザ光）の波長よりも小さい。従って、本実施形態の光源モジュール１Ｊによれば、光の位相分布を動的に制御することができる。
【０１０６】
なお、本実施形態では、Ｘ方向におけるゲイン領域３Ｄの各部分３１の幅を、誘導放出光の波長より長くすることもできる。その場合、図８に示した縮小光学系８０を用いて、複数のピクセルのサイズを誘導放出光の波長よりも小さくすることによって、同様の効果を奏することができる。
【０１０７】
（第７変形例）
図１９は、上記第３実施形態の第７変形例に係る光源モジュール１Ｋを示す断面図であって、図１７のＸＶＩＩＩ－ＸＶＩＩＩ線に沿った断面に対応する断面を示す。本変形例では、第３実施形態と異なり、光出射面２において、各ピクセル２１のサイズＬが、ゲイン領域３Ｄから出力される誘導放出光の波長よりも大きい。また、本変形例の光源モジュール１Ｋは、第３実施形態の構成に加えて、光出射面２と光学的に結合された縮小光学系８０を更に備える。縮小光学系８０の構成は、前述した第２変形例（図８を参照）と同様である。
【０１０８】
本変形例では、縮小光学系８０を通過した後の或る位置（例えば縮小光学系８０を通過した直後）において、サブピクセル２２の配列方向における各ピクセル２１からの光束の幅が、ゲイン領域３Ｄから出力される誘導放出光の波長よりも小さくなるように、縮小光学系８０の縮小率が設定されている。例えば本変形例のような構成であっても、上記第３実施形態と同様の作用効果を奏することができる。また、この場合、Ｘ方向におけるゲイン領域３Ｄの各部分３１の幅を誘導放出光の波長より大きくすることが可能となる。従って、ゲイン領域３Ｄの各部分３１の幅を、導波モードが十分に形成される程度に大きくすることが可能となり、具体的な構造の選択肢が広がる。
【０１０９】
（第４実施形態）

図２０は、本開示の第４実施形態に係る光変調モジュール１Ｌの構成を概略的に示す断面図である。この光変調モジュール１Ｌは、Ｚ方向上方から入力した誘導放出光を反射しつつその位相分布を空間的に変調し、再びＺ方向上方へ出力する装置である。なお、入力される誘導放出光は例えばレーザ光であり、誘導放出光の波数（位相）は空間的に揃っているものとする。

【０１１０】

図２０に示すように、光変調モジュール１Ｌは、Ｚ方向に積み重ねられた２つの変調部４Ｂ，４Ｃと、ＸＹ平面に沿って延在する２つの光出射面２Ｂ，２Ｃとを備える。２つの変調部４Ｂ，４Ｃは、それぞれ本実施形態における強度調整部である。光出射面２Ｂは変調部４Ｂと光学的に結合されており、本実施形態では光出射面２Ｂは変調部４Ｂの上面により構成されている。同様に、光出射面２Ｃは変調部４Ｃと光学的に結合されており、本実施形態では光出射面２Ｃは変調部４Ｃの上面により構成される。変調部４Ｃは、外部から入力された誘導放出光の強度を調整し、調整後の誘導放射光を光出射面２Ｃから出力する。変調部４Ｂは、光出射面２Ｃ上に設けられ、光出射面２Ｃから出力された誘導放出光の強度を調整し、調整後の誘導放射光を光出射面２Ｂから出力する。

【０１１１】

図２１の（ａ）部は、一方の光出射面２Ｂの構成を示す平面図である。図２１の（ｂ）部は、他方の光出射面２Ｃの構成を示す平面図である。これらの光出射面２Ｂ，２Ｃは、二次元状に配列された複数のピクセル２５を有する。図示例では、複数のピクセル２５はそれぞれ正方形状を呈し、Ｘ方向及びＹ方向に並んで配置され、互いに隣接している。各ピクセル２５は、一次元に配列された少なくとも３つのサブピクセル２６を含む。一方の光出射面２Ｂにおける少なくとも３つのサブピクセル２６の配列方向と、他方の光出射面２Ｃにおける少なくとも３つのサブピクセル２６の配列方向とは、互いに交差（例えば直交）する。図示例では、一方の光出射面２Ｂの各ピクセル２５において、３つのサブピクセル２６はＸ方向に配列されている。また、他方の光出射面２Ｃの各ピクセル２５において、３つのサブピクセル２６はＹ方向に配列されている。

【０１１２】

サブピクセル２６の配列方向における各ピクセル２５のサイズＬは、外部から入力される誘導放出光の波長よりも小さい。なお、一方の光出射面２Ｂの各ピクセル２５を構成するサブピクセル２６の個数と、他方の光出射面２Ｃの各ピクセル２５を構成するサブピクセル２６の個数とは、互いに同じであってもよいし、互いに異なってもよい。但し、一方の光出射面２Ｂの複数のピクセル２５それぞれと、他方の光出射面２Ｃの複数のピクセル２５それぞれとは互いに一対一で対応しており、光出力方向から見て、光出射面２Ｂの複数のピクセル２５それぞれと、光出射面２Ｃの複数のピクセル２５それぞれとは互いに重なる。一方の光出射面２Ｂの各ピクセル２５のサイズ及び形状と、他方の光出射面２Ｃの各ピクセル２５のサイズ及び形状とは、互いに同一である。

【０１１３】

再び図２０を参照する。２つの変調部４Ｂ，４Ｃは、裏面電極の構成材料を除き、それぞれ同一の構成を備える。各変調部４Ｂ，４Ｃは、基板１２を有する。基板１２は、平坦且つ互いに平行な主面１２ａ及び裏面１２ｂを有する。基板１２は、半導体のエピタキシャル成長のために好適な基板であって、例えば半導体基板である。主面１２ａは、領域１２ａａ（第１の領域）を含む。

【０１１４】

各変調部４Ｂ，４Ｃは、領域１２ａａ上に設けられた半導体積層構造４０Ｂを更に有する。半導体積層構造４０Ｂは、領域１２ａａ上に設けられた下部クラッド層４４と、下部クラッド層４４上に設けられた光吸収層４５と、光吸収層４５上に設けられた上部クラッド層４６と、上部クラッド層４６上に設けられたコンタクト層４７とを含む。

【０１１５】

下部クラッド層４４、光吸収層４５、上部クラッド層４６及びコンタクト層４７は、複数のピクセル２５にそれぞれ対応する複数の部分４１Ａに電気的に分割されている。具体

的には、半導体積層構造４０Ｂは、Ｚ方向から見て格子状に設けられた高抵抗領域７６を含む。高抵抗領域７６は、半導体積層構造４０Ｂの他の半導体層よりも高抵抗の領域である。高抵抗領域７６は、半導体積層構造４０Ｂの表面（すなわちコンタクト層４７の表面）から基板１２に達している。

【０１１６】

また、下部クラッド層４４、光吸収層４５、上部クラッド層４６及びコンタクト層４７は、各部分４１Ａ内において、少なくとも３つのサブピクセル２６に対応する少なくとも３つの単位部分４２Ａに電気的に分割されている。具体的には、半導体積層構造４０Ｂは、複数の単位部分４２Ａと交互に設けられた高抵抗領域７７を含む。高抵抗領域７７は、半導体積層構造４０Ｂの他の半導体層よりも高抵抗の領域である。高抵抗領域７７は、高抵抗領域７６と同様に、半導体積層構造４０Ｂの表面（すなわちコンタクト層４７の表面）から基板１２に達している。隣接する単位部分４２Ａ同士において互いに干渉してスーパーモードを形成し得るように、高抵抗領域７７の延在方向と交差する方向の幅は、誘導放出光の波長程度となっている。これにより、複数の単位部分４２Ａ間で誘導放出光の位相を揃えることができる。そして、隣接する単位部分４２Ａ間で光が漏れ出しやすいように、高抵抗領域７７は各層４４～４７よりも高い屈折率を有するか、または各層４４～４７と同一の屈折率を有する。

【０１１７】

コンタクト層４７上には、光透過性を有する電極４３Ａが、各単位部分４２Ａ毎に設けられている。光透過性を有する電極４３Ａの構成材料は、例えば酸化インジウムスズ（Indium Tin Oxide：ＩＴＯ）、アルミニウムドープ酸化亜鉛（Aluminum-doped Zinc Oxide：ＡＺＯ）またはＩＧＺＯ（Indium Gallium Zinc Oxide）などの酸化物半導体である。

【０１１８】

Ｚ方向上側に位置する変調部４Ｂは、基板１２の裏面１２ｂ上の全面に設けられた裏面電極４９Ａを有する。裏面電極４９Ａは、光透過性を有する導電体から成り、例えば電極４３Ａと同じ材料によって構成される。裏面電極４９Ａは、光透過性の接着剤１９を介して変調部４Ｃの電極４３Ａに接合されている。接着剤１９は絶縁性を有する。変調部４Ｂは、単位部分４２Ａ毎に設けられた電極４３Ａと裏面電極４９Ａとの間に印加される電圧に応じて、誘導放出光の強度調整量を単位部分４２Ａ毎に個別に制御する。

【０１１９】

Ｚ方向下側に位置する変調部４Ｃは、基板１２の裏面１２ｂ上の全面に設けられた裏面電極４９を有する。裏面電極４９は、金属から成り、基板１２とオーミック接触を成すとともに、反射ミラーとして機能する。従って、変調部４Ｃは、誘導放出光を電極４３Ａの上面（第１面）から受け、誘導放出光の強度を調整して電極４３Ａの上面から出力する反射型の構成を有する。変調部４Ｃは、単位部分４２Ａ毎に設けられた電極４３Ａと裏面電極４９との間に印加される電圧に応じて、誘導放出光の強度調整量を単位部分４２Ａ毎に個別に制御する。

【０１２０】

本実施形態による光変調モジュール１Ｌによって得られる作用効果について説明する。Ｚ方向上方から、位相が揃った状態で誘導放射光が入力されると、誘導放射光は変調部４Ｂを透過し、変調部４Ｃの裏面電極４９において反射し、再び変調部４Ｂを透過してＺ方向上方へ出力される。このとき、変調部４Ｂの電極４３Ａと裏面電極４９Ａとの間、及び変調部４Ｃの電極４３Ａと裏面電極４９との間には逆バイアス電圧が印加され、ＱＣＳＥにより、光吸収層４５において光が吸収される。各変調部４Ｂ，４Ｃにおいては、逆バイアス電圧の大きさを制御して、誘導放出光の吸収量（減衰率）を調整することにより、誘導放出光の強度を所望の大きさに調整する。電極４３Ａが各単位部分４２Ａ毎に独立して設けられているので、このような強度調整を、各単位部分４２Ａにおいて個別に行うことができる。

【０１２１】

変調部４Ｃによって強度調整された誘導放出光は、変調部４Ｃの複数の単位部分４２Ａ

それぞれから、波数（位相）が揃った状態で、光出射面２Ｃの複数のサブピクセル２６を通じて変調部４Ｂへ出力される。そして、変調部４Ｂによって強度調整された誘導放出光は、変調部４Ｂの複数の単位部分４２Ａそれぞれから、波数（位相）が揃った状態で、光出射面２Ｂの複数のサブピクセル２６を通じて光変調モジュール１Ｌの外部へ出力される。単一の光出射面においては、原理上、サブピクセル２６が配列している方向に沿った一次元方向において空間的な位相変調が実現される。しかし、本実施形態では、２つの光出射面２Ｂ，２Ｃが設けられ、且つ、光出射面２Ｂ，２Ｃにおけるサブピクセル２６の配列方向が互いに交差しているので、二次元方向での空間的な位相変調を実現することが可能となる。

【０１２２】

本実施形態の光変調モジュール１Ｌにおいても、第１実施形態と同様に、各ピクセル２５に含まれる少なくとも３つのサブピクセル２６から出力する誘導放出光の強度を、各サブピクセル２６毎に独立して制御することができる。また、サブピクセル２６の配列方向における各ピクセル２５のサイズＬは、誘導放出光の波長よりも小さい。従って、本実施形態の光変調モジュール１Ｌによれば、光の位相分布を動的に制御することができる。

【０１２３】

また、本実施形態のように、変調部４Ｃは、誘導放出光を上面から受け、誘導放出光の強度を調整して該上面から出力する反射型の構成を有してもよい。この場合、複数のピクセル２５が二次元状に配置された光変調モジュール１Ｌを容易に実現することができる。

【０１２４】

また、本実施形態のように、光出射面２Ｃが変調部４Ｃの上面により構成される場合、光変調モジュール１Ｌは、光出射面２Ｃ上に設けられた変調部４Ｂ及び光出射面２Ｂを更に備え、光出射面２Ｃのサブピクセル２６の配列方向と、光出射面２Ｂのサブピクセル２６の配列方向とが互いに交差してもよい。例えばこのような構成により、複数のピクセル２５が二次元状に配置された光変調モジュール１Ｌを実現することができる。

【０１２５】

なお、本実施形態では、変調部４Ｂ，４Ｃの各部分４１Ａの幅（すなわちサブピクセル２６の配列方向における各ピクセル２５のサイズＬ）を、誘導放出光の波長より大きくすることもできる。その場合、図８に示した縮小光学系８０を用いるとよい。縮小光学系８０を通過した後の或る位置において、光出射面２Ｂ，２Ｃのサブピクセル２６の配列方向における各ピクセル２５からの光束の幅を誘導放出光の波長よりも小さくすることによって、サイズＬが誘導放出光の波長より小さい場合と同様の効果を奏することができる。

【０１２６】

（第８変形例）

図２２は、上述した第４実施形態の一変形例として、光変調モジュール１Ｍの構成を示す断面図である。この光変調モジュール１Ｍは、第４実施形態の変調部４Ｃに代えて、変調部４Ｄを備える。すなわち、光変調モジュール１Ｍは、Ｚ方向に積み重ねられた２つの変調部４Ｂ，４Ｄと、ＸＹ平面に沿って延在する２つの光出射面２Ｂ，２Ｃとを備える。変調部４Ｄは、本変形例における強度調整部である。光出射面２Ｃは変調部４Ｄと光学的に結合されており、本実施形態では光出射面２Ｃは変調部４Ｄの上面により構成される。変調部４Ｄの構成は、下記の点を除いて、第４実施形態の変調部４Ｃと同様である。

【０１２７】

変調部４Ｄは、第４実施形態の変調部４Ｃの構成に加えて、１／４波長板１６を更に有する。また、変調部４Ｄは、第４実施形態の変調部４Ｃの裏面電極４９に代えて、変調部４Ｂと同様に光透過性の裏面電極４９Ａを有する。１／４波長板１６は、本変形例における偏光回転部であって、裏面電極４９Ａの表面（基板１２とは反対側の面）上に設けられている。１／４波長板１６は、例えば水晶や雲母といった複屈折材料を主に含む。なお、１／４波長板１６に入射した誘導放出光は、反射ミラー１４において反射し、再び１／４波長板１６を通過する。すなわち、誘導放出光は１／４波長板１６を２回通過するので、１／２波長板通過時と同様となる。従って１／４波長板１６の遅相軸をＸ軸から４５°傾

けて配置し、Ｘ軸に沿った偏光の光を入射することによって、１／４波長板１６を往復した誘導放出光はＹ軸に沿った偏光の光として出力される。

【０１２８】

図２３は、光変調モジュール１Ｍを含む光変調モジュール１Ｎの構成例を概略的に示す図である。この光変調モジュール１Ｎは、光変調モジュール１Ｍに加えて、偏光ビームスプリッタ１７及び偏光板１８を備える。偏光ビームスプリッタ１７の一端は、光変調モジュール１Ｍの光入出射面Ｂ（図２２に示した変調部４Ｂの上面）と光学的に結合されている。偏光ビームスプリッタ１７の他端には、偏光板１８を介して誘導放出光$Ａ_1$が入力される。誘導放出光$Ａ_1$は、偏光板１８を通過することにより、第１の偏光方向を有する直線偏光となる。直線偏光となった誘導放出光$Ａ_1$は、偏光ビームスプリッタ１７を介して光変調モジュール１Ｍの光入出射面Ｂに入力される。

【０１２９】

光変調モジュール１Ｍにおいて強度調整された誘導放出光$Ａ_2$は、光入出射面Ｂから出力される。本変形例においては変調部４Ｄに１／４波長板１６が設けられているので、光入出射面Ｂから出力される誘導放出光$Ａ_2$の偏光方向は、上記第１の偏光方向と交差する第２の偏光方向とされる。偏光ビームスプリッタ１７は、光入出射面Ｂに入力される強度調整前の誘導放出光$Ａ_1$と、光入出射面Ｂから出力される強度調整後の誘導放出光$Ａ_2$とを相互に分離する。分離された誘導放出光$Ａ_2$は、誘導放出光$Ａ_1$の光軸方向と交差する方向に出力される。

【０１３０】

本変形例のように、光入出射面Ｂに入力される誘導放出光$Ａ_1$は第１の偏光方向を有する直線偏光であり、変調部４Ｄは、誘導放出光$Ａ_2$の偏光方向を第１の偏光方向と交差する第２の偏光方向とする１／４波長板１６を有してもよい。更に、光変調モジュール１Ｎは、光入出射面Ｂに入力される強度調整前の誘導放出光$Ａ_1$と光入出射面Ｂから出力される強度調整後の誘導放出光$Ａ_2$とを分離する偏光ビームスプリッタ１７を備えてもよい。例えばこのような構成によって、反射型の光変調モジュール１Ｍに対して同軸でもって誘導放出光$Ａ_1$，$Ａ_2$の入出射を行うことができ、光学系を簡素化できる。

【０１３１】

（第５実施形態）

図２４は、本開示の第５実施形態に係る光源モジュール１Ｐの構成を概略的に示す断面図である。この光源モジュール１Ｐは、Ｚ方向に積み重ねられた２つの変調部４Ｂ，４Ｅと、ＸＹ平面に沿って延在する２つの光出射面２Ｂ，２Ｅとを備える。２つの変調部４Ｂ，４Ｅは、それぞれ本実施形態における強度調整部である。光出射面２Ｂは変調部４Ｂと光学的に結合されており、本実施形態では光出射面２Ｂは変調部４Ｂの上面により構成されている。同様に、光出射面２Ｅは変調部４Ｅと光学的に結合されており、本実施形態では光出射面２Ｅは変調部４Ｅの上面により構成される。また、この光源モジュール１Ｐは、面光源である発光部３Ｅを更に備える。変調部４Ｅは、発光部３Ｅの発光面と対向する下面と、該対向する面とは反対側の上面とを有し、下面から受けた誘導放出光の強度を調整して上面から出力する。

【０１３２】

変調部４Ｅの構成は、次の点を除いて、上述した変調部４Ｃと同様である。すなわち、変調部４Ｅは、変調部４Ｃの裏面電極４９（図２０を参照）に代えて、光透過性の裏面電極４９Ａを有する。従って、変調部４Ｅの構成は、サブピクセル２６の配列方向が異なる点を除いて、変調部４Ｂと同様である。変調部４Ｂの裏面電極４９Ａは、接着剤１９を介して変調部４Ｅの電極４３Ａに接合されている。変調部４Ｅの裏面電極４９Ａは、接着剤１５を介して発光部３Ｅの電極３３Ａ（後述）に接合されている。接着剤１５は絶縁性を有し、光透過性または光不透過性のいずれであってもよい。

【０１３３】

発光部３Ｅは、基板１３を備える。基板１３は、平坦且つ互いに平行な主面１３ａ及び裏面１３ｂを有する。基板１３は、半導体のエピタキシャル成長のために好適な基板であ

って、例えば半導体基板である。また、発光部３Ｅは、主面１３ａ上に設けられた半導体積層構造３０Ｅを有する。半導体積層構造３０Ｅは、主面１３ａ上に設けられた下部クラッド層３４と、下部クラッド層３４上に設けられた活性層３５と、活性層３５上に設けられた上部クラッド層３６と、上部クラッド層３６上に設けられたコンタクト層３７とを含む。なお、これらの層３４～３７の詳細は、上述した第１実施形態と同様である。また、半導体積層構造３０Ｅは、フォトニック結晶層３８Ａを更に含む。フォトニック結晶層３８Ａは、下部クラッド層３４と活性層３５との間、または活性層３５と上部クラッド層３６との間に設けられている。図示例では、フォトニック結晶層３８Ａは活性層３５と上部クラッド層３６との間に設けられている。フォトニック結晶層３８Ａは、二次元の回折格子を内部に有する。例えば、フォトニック結晶層３８Ａは、基本層３８ａ及び複数の異屈折率領域３８ｂを含む。複数の異屈折率領域３８ｂは、基本層３８ａ内においてＸ方向及びＹ方向に一定の周期で配置され、基本層３８ａとは異なる屈折率を有する。複数の異屈折率領域３８ｂは、空孔であってもよく、基本層３８ａと異なる屈折率を有する半導体が埋め込まれることにより構成されてもよい。コンタクト層３７上には、電極３３Ａが設けられている。電極３３Ａの平面形状は、半導体積層構造３０Ｅの表面における光出力領域を囲む枠形状を呈している。電極３３Ａは、コンタクト層３７とオーミック接触を成す。基板１３の裏面１３ｂ上には、裏面電極３９が設けられている。裏面電極３９は、基板１３とオーミック接触を成す。また、裏面電極３９は反射ミラーとしても機能する。

【０１３４】

発光部３Ｅにおいて電極３３Ａと裏面電極３９との間にバイアス電流が供給されると、下部クラッド層３４と上部クラッド層３６との間にキャリアが集まり、活性層３５において光が効率的に発生する。フォトニック結晶層３８Ａでは、基板１３の主面１３ａに沿った方向に共振モードが形成され、複数の異屈折率領域３８ｂの配置に応じたモードのレーザ光が生成される。フォトニック結晶層３８Ａにおいて生成されたレーザ光は、波数（位相）が揃った状態で、基板１３の主面１３ａと交差する方向（Ｚ方向）に進み、半導体積層構造３０Ｅの表面を通過して変調部４Ｅの下面に入射する。

【０１３５】

変調部４Ｂ，４Ｅの電極４３Ａと裏面電極４９Ａとの間には逆バイアス電圧が印加され、ＱＣＳＥにより、光吸収層４５においてレーザ光が吸収される。各変調部４Ｂ，４Ｅにおいては、逆バイアス電圧の大きさを制御して、レーザ光の吸収量（減衰率）を調整することにより、レーザ光の強度を所望の大きさに調整する。電極４３Ａが各単位部分４２Ａ毎に独立して設けられているので、このような強度調整を、各単位部分４２Ａにおいて個別に行うことができる。

【０１３６】

変調部４Ｅによって強度調整されたレーザ光は、変調部４Ｅの複数の単位部分４２Ａそれぞれから、波数（位相）が揃った状態で、光出射面２Ｅの複数のサブピクセル２６を通じて変調部４Ｂへ出力される。そして、変調部４Ｂによって強度調整された誘導放出光は、変調部４Ｂの複数の単位部分４２Ａそれぞれから、波数（位相）が揃った状態で、光出射面２Ｂの複数のサブピクセル２６を通じて光源モジュール１Ｐの外部へ出力される。単一の光出射面においては、原理上、サブピクセル２６が配列している方向に沿った一次元方向において空間的な位相変調が実現される。しかし、本実施形態においても、２つの光出射面２Ｂ，２Ｅが設けられ、且つ、光出射面２Ｂ，２Ｅにおけるサブピクセル２６の配列方向が互いに交差しているので、二次元方向での空間的な位相変調を実現することが可能となる。

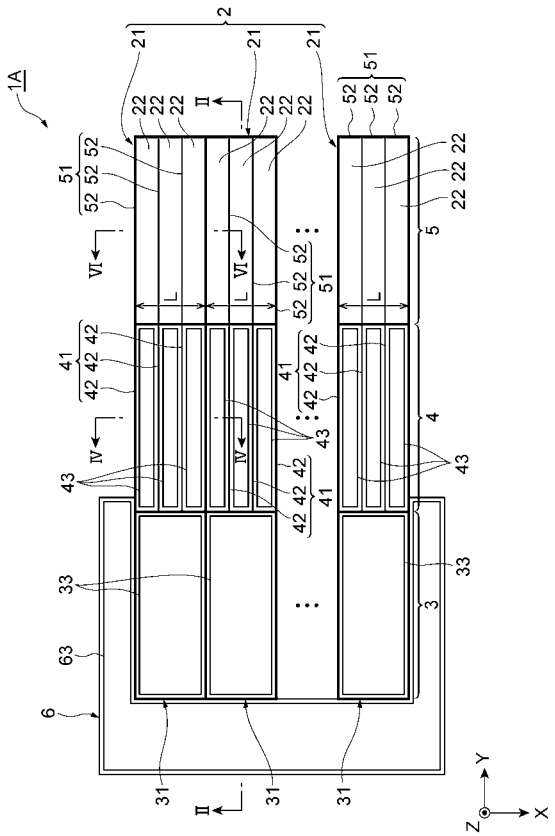
【０１３７】

本実施形態の光源モジュール１Ｐにおいても、各ピクセル２５に含まれる少なくとも３つのサブピクセル２６から出力するレーザ光の強度を、各サブピクセル２６毎に独立して制御することができる。また、サブピクセル２６の配列方向における各ピクセル２５のサイズＬ（図２１を参照）は、レーザ光の波長よりも小さい。従って、本実施形態の光源モジュール１Ｐによれば、光の位相分布を動的に制御することができる。

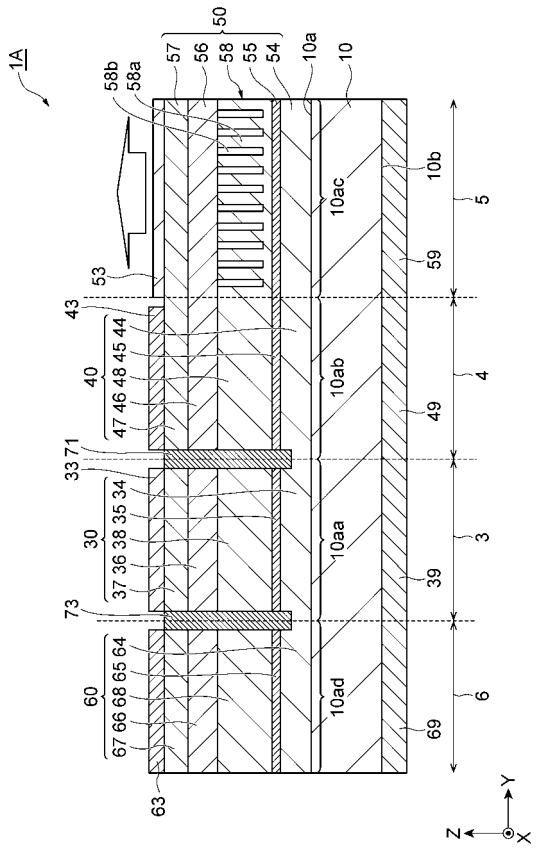
【０１３８】
また、本実施形態のように、発光部３Ｅが面光源であり、変調部４Ｅは、発光部３Ｅの発光面と対向する下面と、該下面とは反対側の上面とを有し、該下面から受けたレーザ光の強度を調整して該上面から出力してもよい。この場合、例えば複数のピクセル２５が二次元状に配置された面発光型の光源モジュール１Ｐを容易に実現することができる。
【０１３９】
また、本実施形態のように、光出射面２Ｅが変調部４Ｅの上面により構成される場合、光源モジュール１Ｐは、光出射面２Ｅ上に設けられた変調部４Ｂ及び光出射面２Ｂを更に備え、光出射面２Ｅのサブピクセル２６の配列方向と、光出射面２Ｂのサブピクセル２６の配列方向とが互いに交差してもよい。例えばこのような構成により、複数のピクセル２５が二次元状に配置された光源モジュール１Ｐを実現することができる。
【０１４０】
なお、本実施形態においても、変調部４Ｂ，４Ｅの各部分４１Ａの幅（すなわちサブピクセル２６の配列方向における各ピクセル２５のサイズＬ）を、誘導放出光の波長より大きくすることもできる。その場合、図８に示した縮小光学系８０を用いるとよい。縮小光学系８０を通過した後の或る位置において、光出射面２Ｂ，２Ｅのサブピクセル２６の配列方向における各ピクセル２５からの光束の幅を誘導放出光の波長よりも小さくすることによって、サイズＬが誘導放出光の波長より小さい場合と同様の効果を奏することができる。
【０１４１】
本開示による光源モジュール及び光変調モジュールは、上述した実施形態に限られるものではなく、他に様々な変形が可能である。例えば、上記第１～第３の実施形態では、光出射面の複数のピクセルが一次元状に配列された例を示したが、これらの形態においても、複数のピクセルは二次元状に配列されてもよい。その場合、例えば上記第１～第３の実施形態に開示された発光モジュールを複数組み合わせてもよい。また、上記第４、第５の実施形態では、光出射面の複数のピクセルが二次元状に配列された例を示したが、これらの形態においても、複数のピクセルは一次元状に配列されてもよい。
【０１４２】
また、上記第１実施形態および第２実施形態では、強度調整後の誘導放出光を基板１０の主面１０ａと交差する方向に出射するために回折領域５が設けられているが、回折領域５に代えて、反射ミラーが設けられてもよい。また、第１実施形態においては、回折領域５を省き、Ｙ方向における変調領域４の端面を光出射面としてもよい。
【符号の説明】
【０１４３】
１Ａ～１Ｊ，１Ｐ…光源モジュール、１Ｌ～１Ｎ…光変調モジュール、２，２Ａ，２Ｂ，２Ｃ，２Ｅ…光出射面、３，３Ａ，３Ｃ，３Ｄ…ゲイン領域、３Ｂ…フォトニック結晶レーザ構造、３Ｅ…発光部、４…変調領域、４Ｂ～４Ｅ…変調部、５…回折領域、６…吸収領域、９…光導波領域、１０，１２，１３…基板、１０ａ，１２ａ，１３ａ…主面、１０ａａ，１０ａｂ，１０ａｃ，１０ａｄ，１０ａｅ，１２ａａ…領域、１０ｂ，１２ｂ，１３ｂ…裏面、１１…光導波路、１４…反射ミラー、１５，１９…接着剤、１６…１／４波長板、１７…偏光ビームスプリッタ、１８…偏光板、２１，２３，２５…ピクセル、２２，２４，２６…サブピクセル、３０，３０Ａ，３０Ｃ～３０Ｅ…半導体積層構造、３１…部分、３２…単位部分、３３，３３Ａ…電極、３４…下部クラッド層、３５…活性層、３６…上部クラッド層、３７…コンタクト層、３８…半導体層、３８Ａ…フォトニック結晶層、３８ａ…基本層、３８ｂ…異屈折率領域、３９…裏面電極、４０，４０Ｂ…半導体積層構造、４１，４１Ａ…部分、４２，４２Ａ…単位部分、４２ａ…光入力端面、４３，４３Ａ…電極、４４…下部クラッド層、４５…光吸収層、４６…上部クラッド層、４７…コンタクト層、４８…半導体層、４９，４９Ａ…裏面電極、５０，５０Ａ…半導体積層構造、５０ａ…スリット、５０ｂ…凹部、５１…部分、５２…単位部分、５３…反射防止膜、５４…下部クラッド層、５５…光導波層、５６…上部クラッド層、５７…半導体層、５

８…回折格子層、５８ａ…基本層、５８ｂ…異屈折率領域、５９…反射ミラー、６０…半導体積層構造、６３…電極、６４…下部クラッド層、６５…光吸収層、６６…上部クラッド層、６７…コンタクト層、６８…半導体層、６９…裏面電極、７１～７４，７６，７７…高抵抗領域、８０…縮小光学系、８１，８２…レンズ、９０…半導体積層構造、９４…下部クラッド層、９５…光導波層、９６…上部クラッド層、９７…半導体層、９９…金属膜、A_1，A_2…誘導放出光、Ｂ…光入出射面、Ｐ…等位相面。

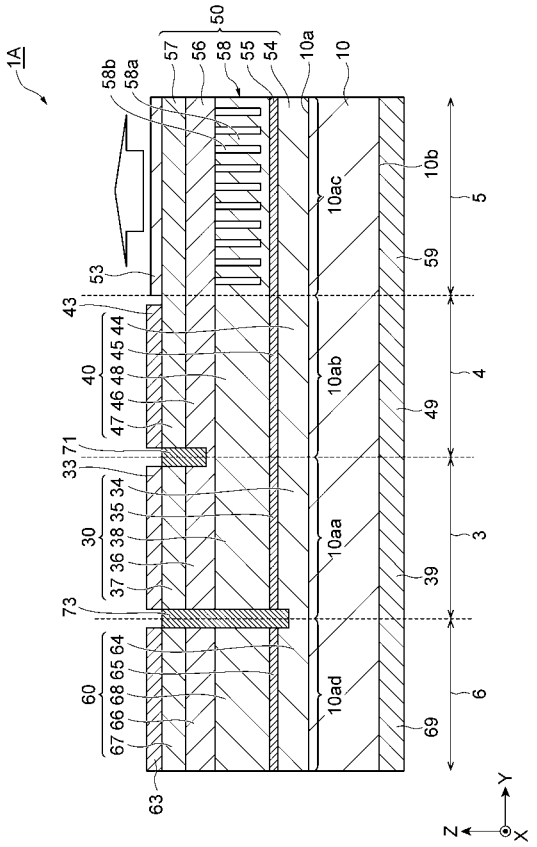
【図１】



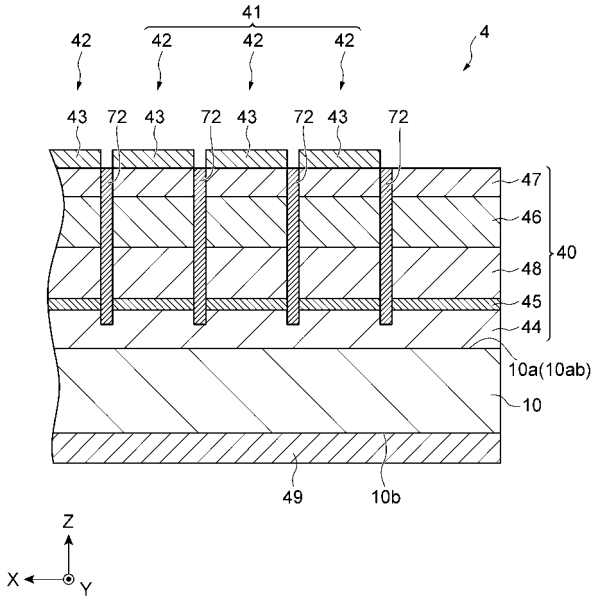
【図２】



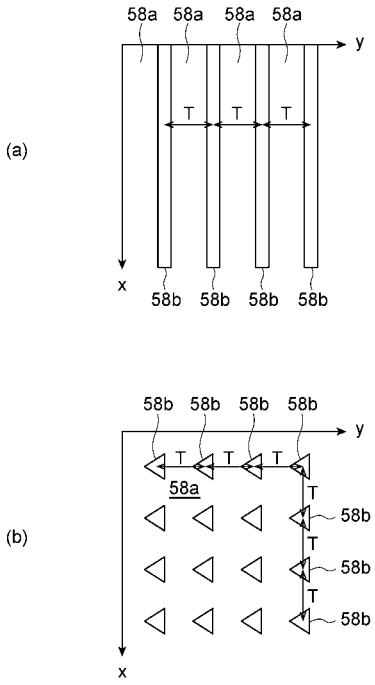
【図３】


1A
50
57
56
58
55
54
10a
10
58b
58a
10ac
10ab
10aa
10ad
10b
59
49
39
69
53
43
44
45
48
47
46
40
71
33
34
35
38
36
37
30
73
64
65
68
66
67
60
63
5
4
3
6
Y
Z
X

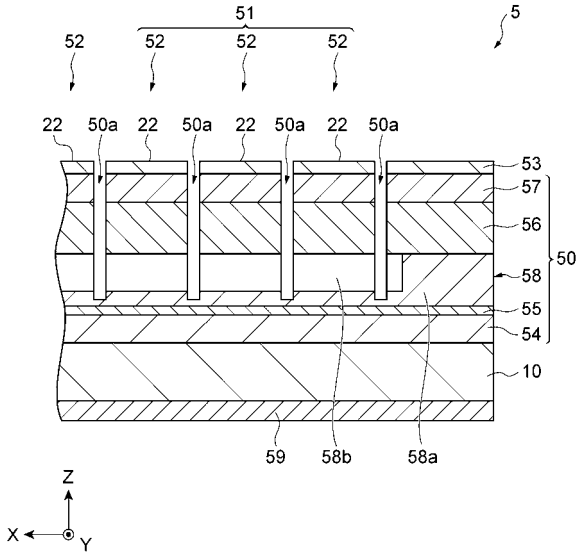
【図４】


41
42
42
42
42
4
43
72
43
72
43
72
43
72
47
46
48
45
44
40
10a(10ab)
10
49
10b
Z
X
Y

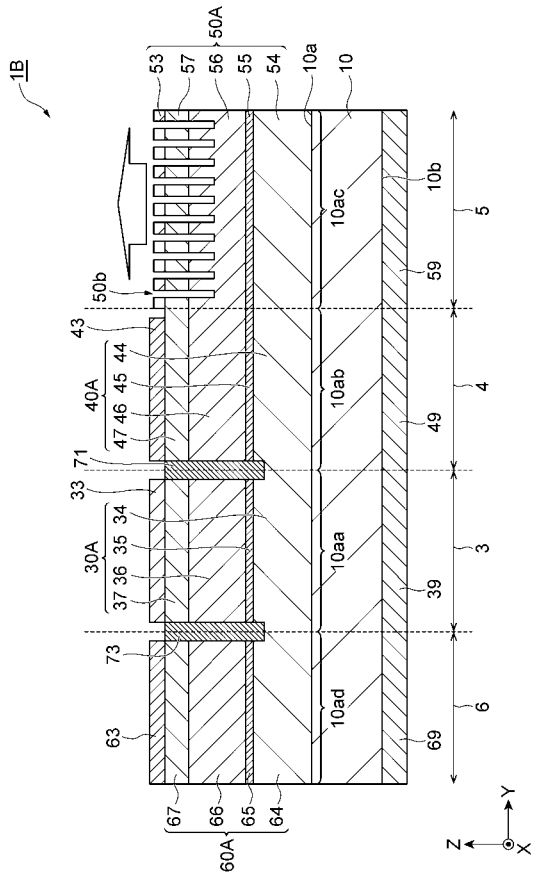
【図５】


(a)
58a
58a
58a
58a
y
T
T
T
x
58b
58b
58b
58b
(b)
58b
58b
58b
58b
y
T
T
T
T
58a
T
58b
T
58b
T
58b
x

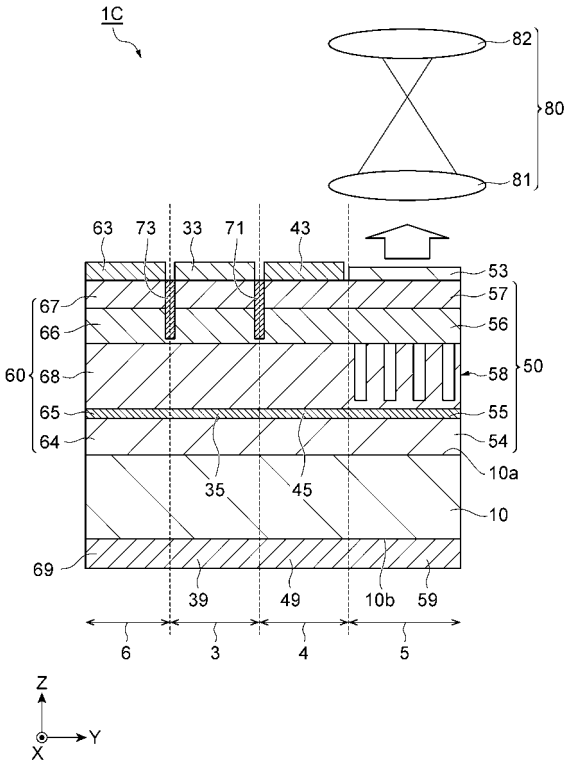
【図６】


51
52
52
52
52
5
22
50a
22
50a
22
50a
22
50a
53
57
56
58
55
54
50
10
59
58b
58a
Z
X
Y

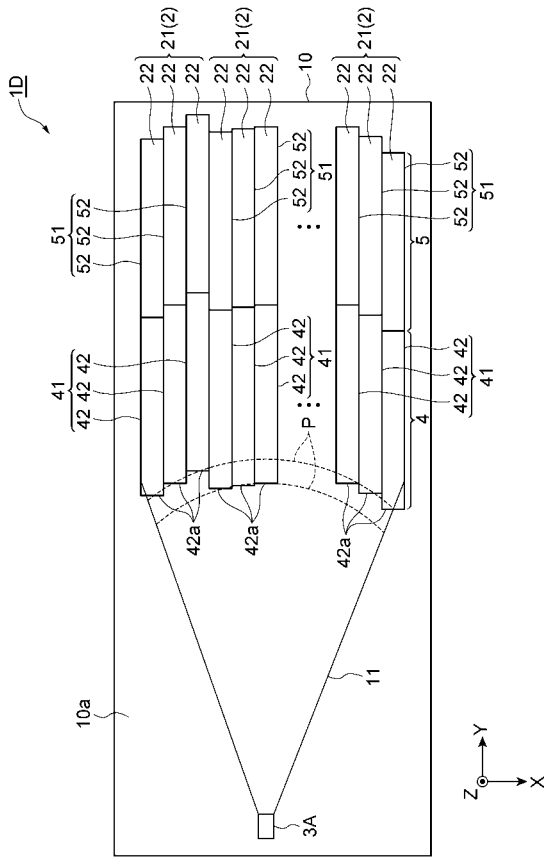
【図７】


1B
50A
53
57
56
55
54
10a
10
10b
5
10ac
59
50b
43
44
40A
45
46
47
4
10ab
49
71
33
34
30A
35
36
37
3
10aa
39
73
6
10ad
63
69
67
66
65
64
60A
Z
Y
X

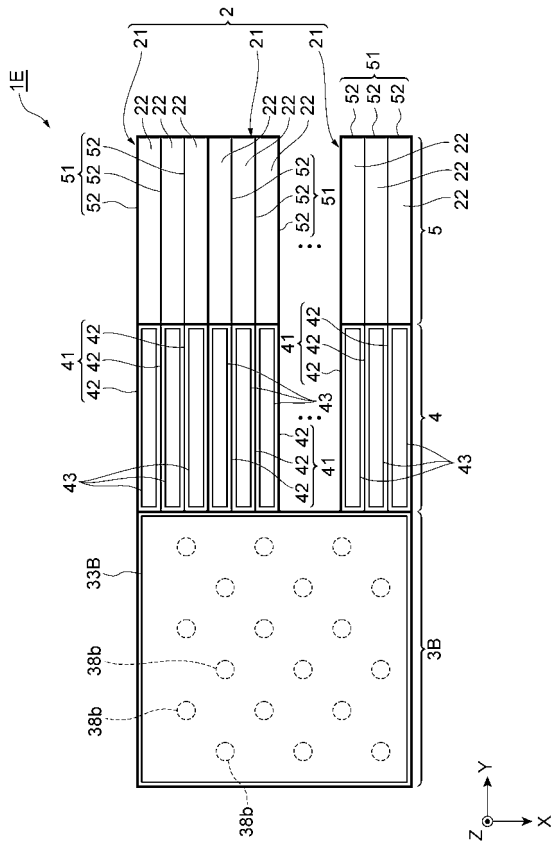
【図８】


1C
82
80
81
63
73
33
71
43
53
57
56
50
67
66
60
68
58
65
55
64
54
10a
35
45
10
69
39
49
10b
59
6
3
4
5
Z
Y
X

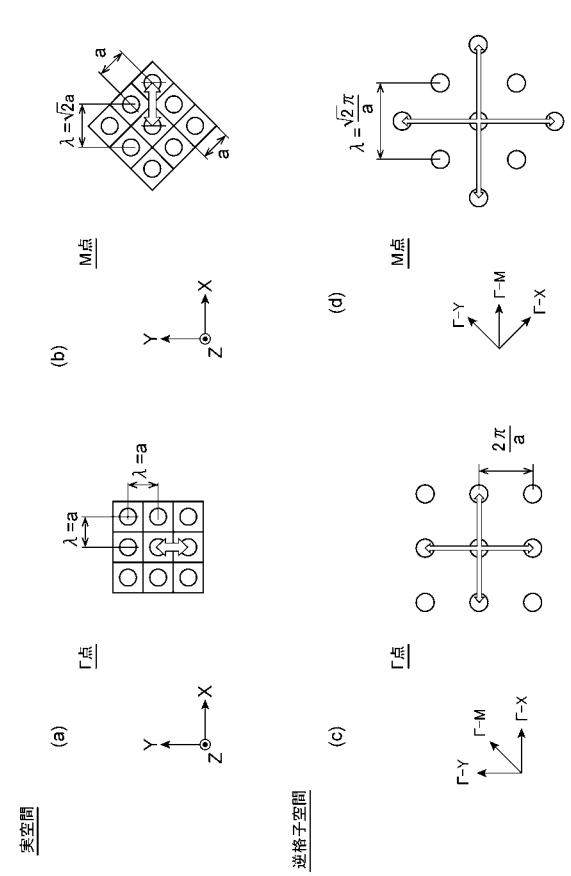
【図９】


1D
21(2)
22
10
51
52
5
41
42
4
P
42a
11
10a
3A
Z
Y
X

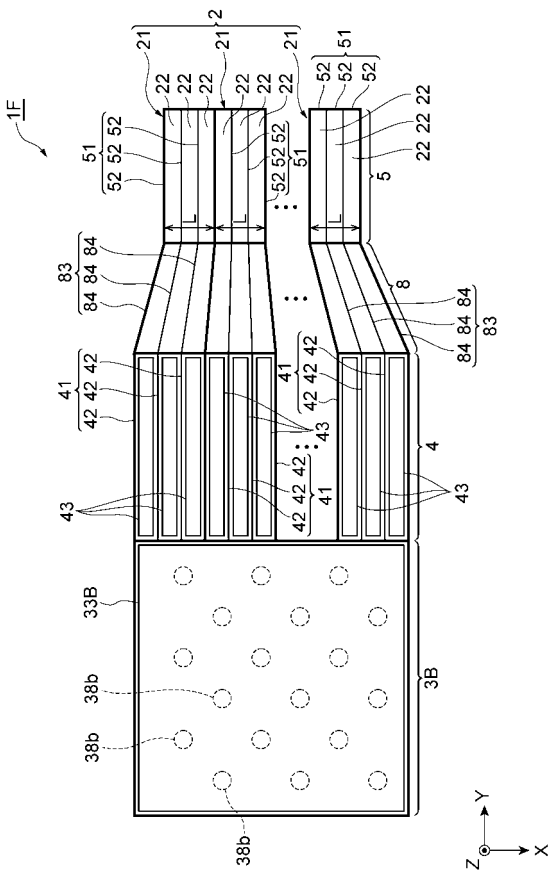
【図１０】


1E
2
21
22
51
52
5
41
42
4
43
33B
38b
3B
Z
Y
X

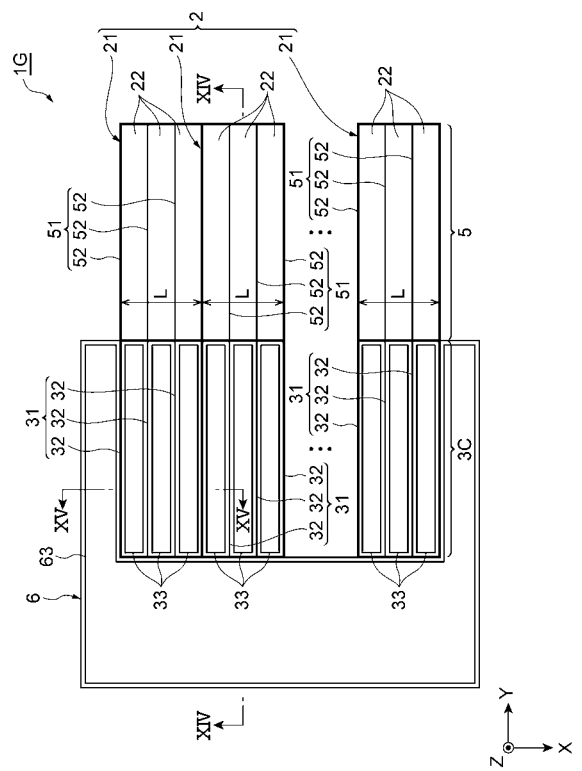
【図１１】



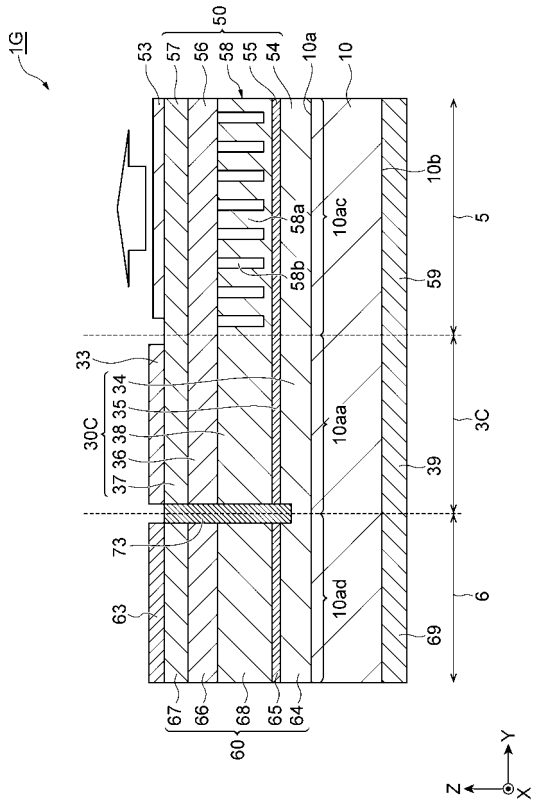
【図１２】



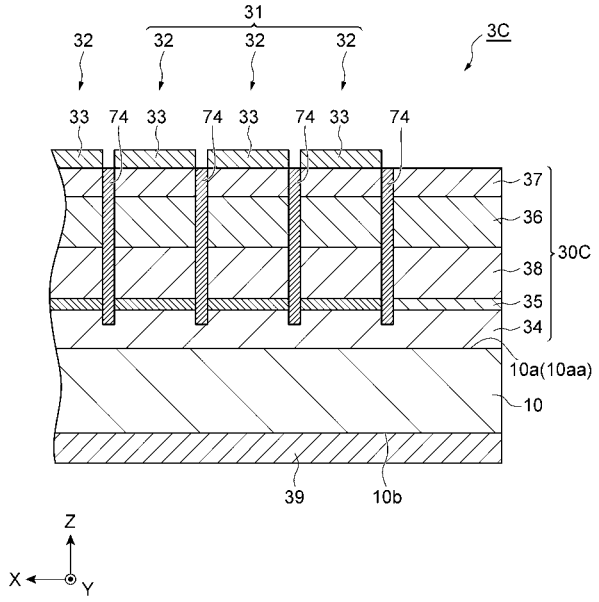
【図１３】



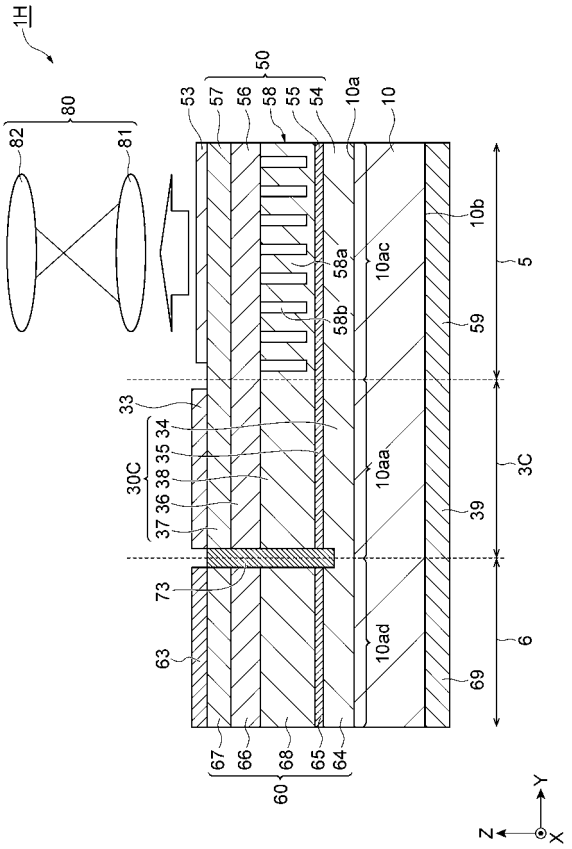
【図１４】



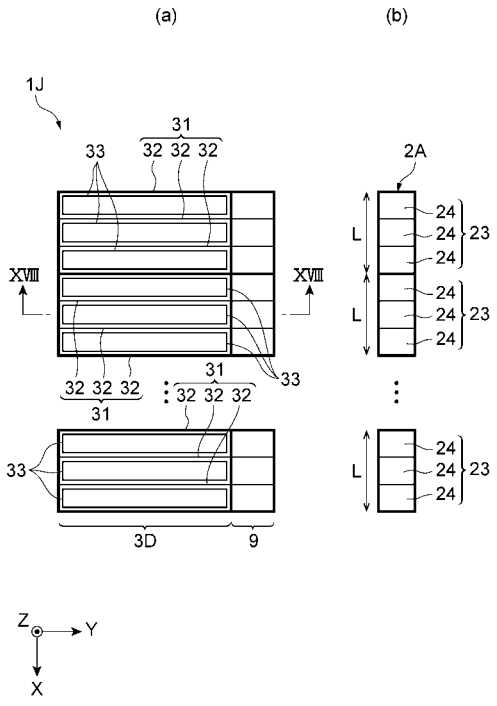
【図１５】



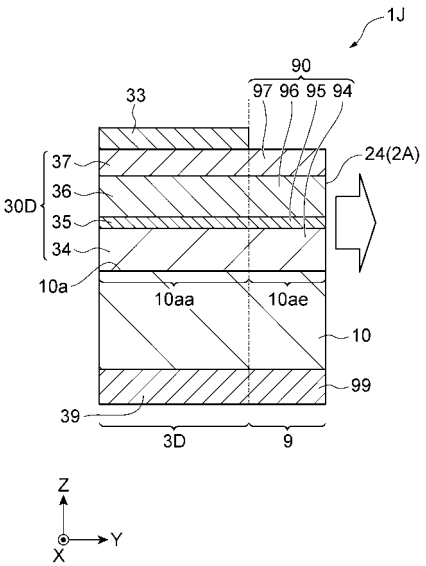
【図１６】



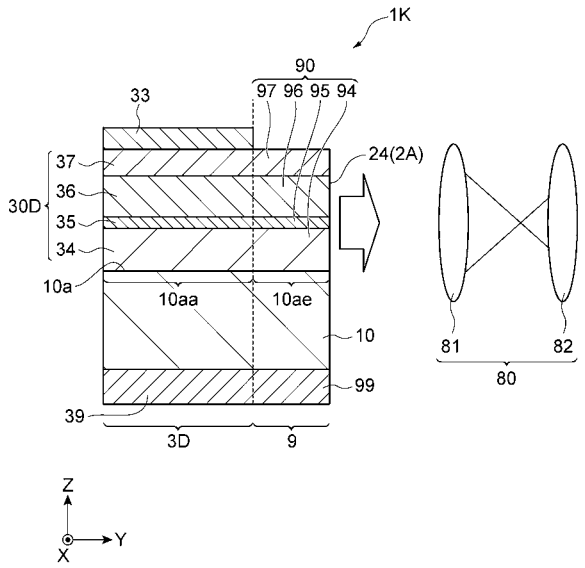
【図１７】



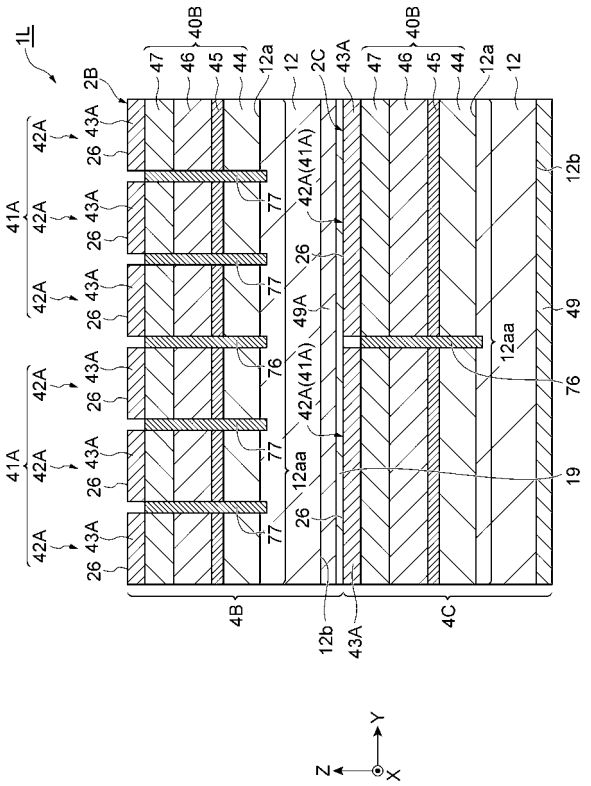
【図１８】



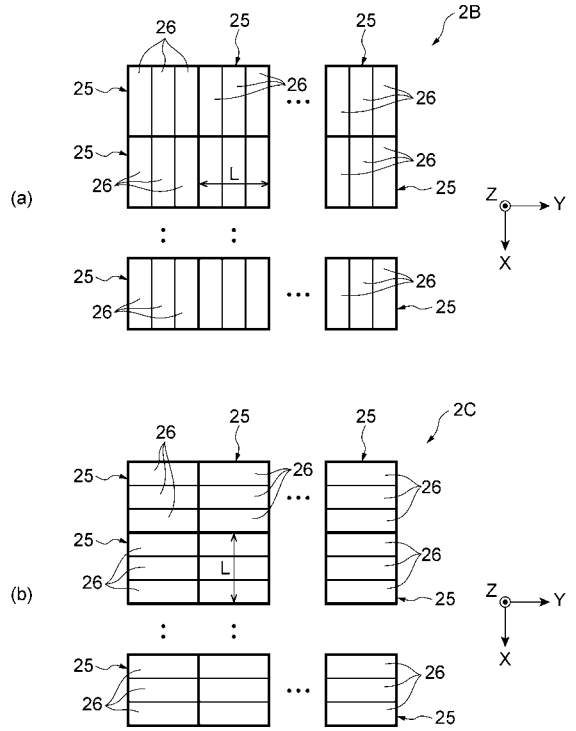
【図１９】



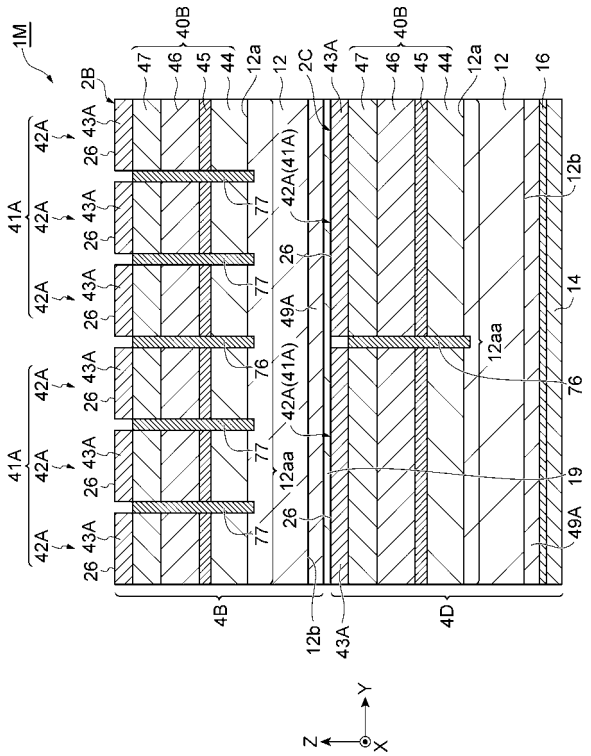
【図２０】



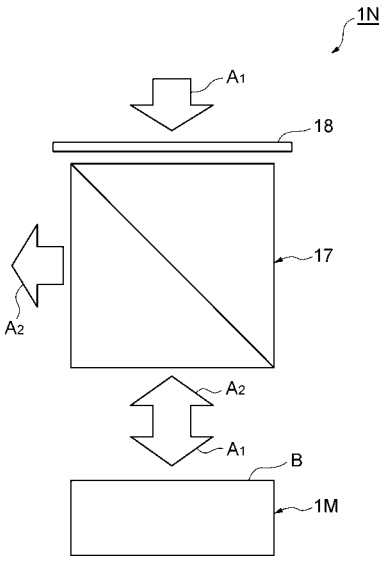
【図２１】



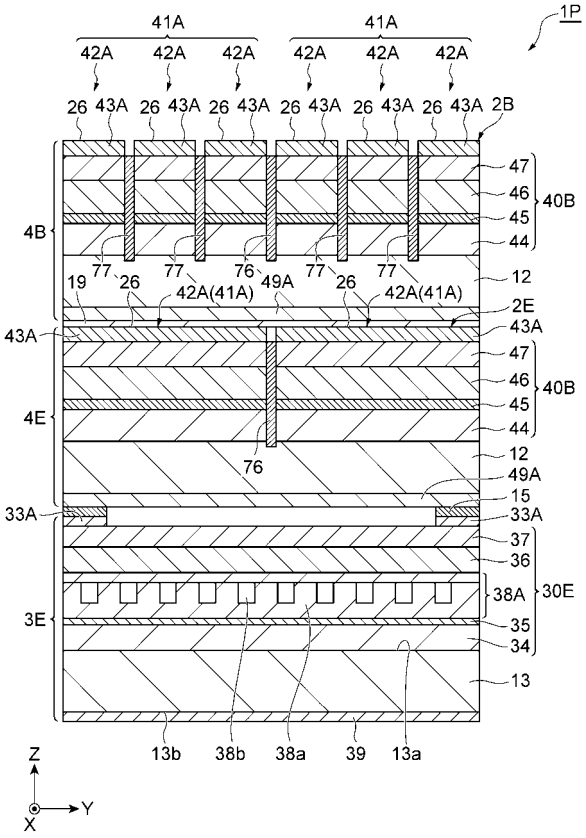
【図２２】



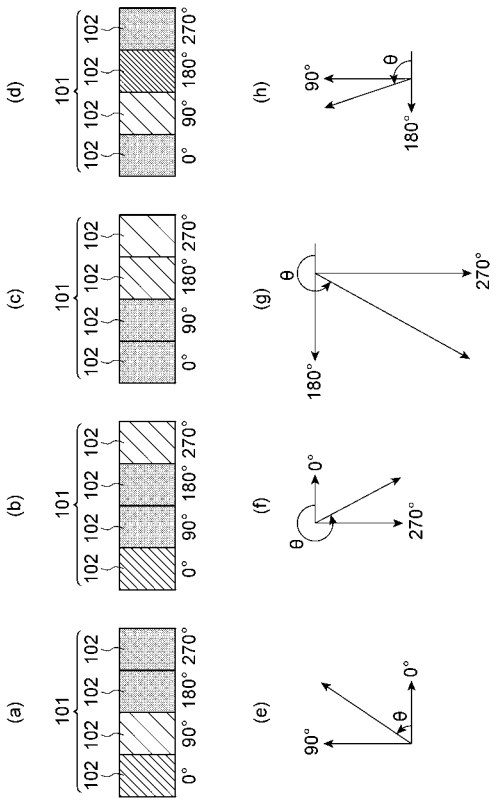
【図２３】



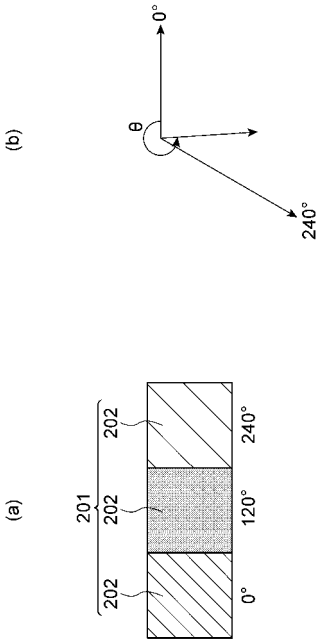
【図２４】



【図２５】



【図２６】



フロントページの続き

(72)発明者　黒坂　剛孝
静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１　浜松ホトニクス株式会社内
(72)発明者　廣瀬　和義
静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１　浜松ホトニクス株式会社内

Ｆターム(参考) 2H149 AA21 BA04
2H249 AA02 AA12 AA57
5F173 AA47 AA57 AB50 AB53 AD03 AD13 AD14 AF44 AF53 AH03
AJ22 AK21 AP05 AP54 AP64 AP73 AR59 AS03