

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(10) 国際公開番号

WO 2010/140404 A1

PCT

(43) 国際公開日
2010 年 12 月 9 日(09.12.2010)

(51) 国際特許分類:

H01S 5/18 (2006.01) G11B 5/60 (2006.01)
G11B 5/02 (2006.01) H01S 5/026 (2006.01)
G11B 5/31 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2010/053635

(22) 国際出願日: 2010 年 3 月 5 日(05.03.2010)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2009-135923 2009 年 6 月 5 日(05.06.2009) JP
特願 2009-146259 2009 年 6 月 19 日(19.06.2009) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): コニカミノルタオプト株式会社 (Konica Minolta Opto, Inc.) [JP/JP]; 〒1928505 東京都八王子市石川町 2 9 7 0 番地 Tokyo (JP).

(72) 発明者: および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 今田 昌宏 (IMADA Masahiro) [JP/JP]; 〒1918511 東京都日野市さくら町 1 番地コニカミノルタテクノロ

ジーセンター株式会社内 Tokyo (JP). 関根 孝二郎(SEKINE Koujiro) [JP/JP]; 〒1918511 東京都日野市さくら町 1 番地コニカミノルタテクノロジーセンター株式会社内 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

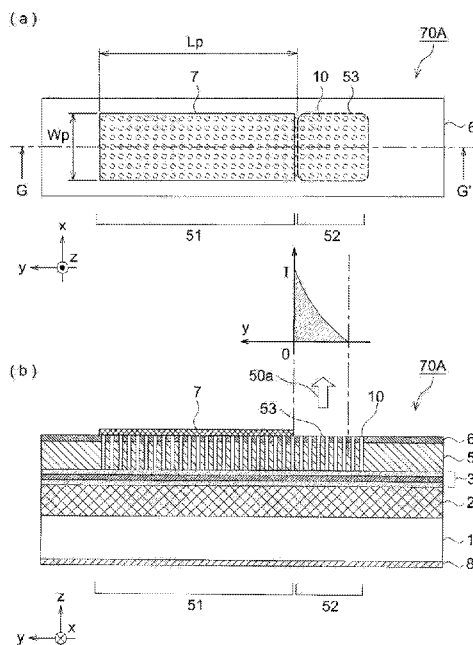
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

[続葉有]

(54) Title: SURFACE EMITTING SEMICONDUCTOR LASER, OPTICAL RECORDING HEAD, AND OPTICAL RECORDING APPARATUS

(54) 発明の名称: 面発光半導体レーザ、光記録ヘッド及び光記録装置

[図5]



(57) Abstract: Disclosed is an optical recording head which is provided with a surface emitting laser that emits laser light which is efficiently introduced into a waveguide through a grating coupler (diffraction grating). Specifically disclosed is an optical recording head which is provided with a surface emitting laser comprising at least a light source, and a waveguide that is connected thereto through a diffraction grating and irradiates a recording medium with the light from the light source. The light source has a two-dimensional photonic crystal structure in the surface that faces the waveguide. Regions of the two-dimensional photonic crystal structure other than the region facing the diffraction grating are covered, and the region facing the diffraction grating serves as a surface emitting region.

(57) 要約: グレーティングカップラ (回折格子) から効率良く導波路に導入されるレーザ光を発生する面発光レーザを備える光記録ヘッドを提供する。このため、光記録ヘッドは、光源と、回折格子を介して結合された前記光源からの光を記録媒体に照射する導波路と、を少なくとも有し、前記光源は、前記導波路と対向する側の面に2次元フォトリソニック結晶構造を有し、前記2次元フォトリソニック結晶構造は、前記回折格子と対向する領域を除く領域が被覆されて、前記回折格子と対向する領域を面発光領域とする面発光レーザである。

WO 2010/140404 A1



CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, 添付公開書類:
TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：面発光半導体レーザ、光記録ヘッド及び光記録装置 技術分野

[0001] 本発明は、面発光半導体レーザ、光記録ヘッド及び光記録装置に関する。

背景技術

[0002] 近年は情報記録媒体の高密度化が求められ、様々な方式の記録方法が提案される中、熱アシスト磁気記録方法がある。熱アシスト磁気記録方法は、記録時に記録媒体を局所的に加熱して磁気軟化を生じさせ、保磁力が小さくなった状態で記録し、その後加熱を止めて自然冷却することにより、記録した磁気ビットの安定性を保証する方法である。

[0003] 熱アシスト磁気記録方法では、記録媒体の加熱を瞬間的に行うことが望ましく、また、加熱する機構と記録媒体とが接触することは許されない。このため、加熱は光の吸収を利用して行われるのが一般的であり、加熱に光を用いる方法は光アシスト式と呼ばれ、光アシスト式で高密度記録を行う場合、使用する光の波長以下の微小な光スポットを必要とする。

[0004] 微小な光スポットとして近接場光（近視野光とも称する。）を利用する光記録ヘッドとして、特許文献１には以下が開示されている。

[0005] 特許文献１に開示された光記録ヘッドは、書き込み磁極とこの書き込み磁極に隣接したコア層とクラッド層を有する導波路を備えている。コア層には、該コア層内に光を導入する回折格子（グレーティングカプラと称される。）が設けられている。このグレーティングカプラに対して、レーザ光を照射すると、レーザ光はコア層に導入される。コア層に導入された光は、コア層の先端部の近傍に位置する焦点に収束し、先端部から放射される光により記録媒体が加熱され、書き込み磁極により書き込みが行われる。この集光機能付きの導波路を有する素子は、導波路型ソリッド・イマージョン・ミラー（PSIM: Planar Solid Immersion Mirror）と呼ばれ、特許文献１のPSIMには上述の通りグレーティングカプラが

設けられている。

[0006] このグレーティングカプラを用いて光を導波路に導入する場合、光の利用効率を考慮する必要がある。

[0007] 上記のPSIMを備える記録ヘッド部分をHAMR (Heat Assisted Magnetic Recording) ヘッドと呼ばれる場合がある。特許文献2には、このHAMRヘッドを備え、更に、HAMRヘッドに光入力するようにレーザ光を照射する面発光レーザ (VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser) が導電性ブリッジで電氣的に接続され、機械的に固定されているスライダが開示されている。スライダにHAMRヘッドと共に面発光レーザを設けることにより、可動部の質量、機械的及び空気力学的な障害を低減し、優れた制御特性が得られるとある。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：米国特許第6944112号明細書

特許文献2：米国特許出願公開第2008/0002298号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、特許文献1及び2の何れにおいても、レーザ光をグレーティングカプラから導波路に光を効率良く導入する方法について何ら考慮されていない。

[0010] 本発明は、上記の課題を鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、グレーティングカプラ (回折格子) から導波路に効率良く導入されるレーザ光を発生する面発光レーザ及びそれを備える光記録ヘッド及び光記録装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0011] 上記の課題は、以下の構成により解決される。

- [0012] 1. 光源と、
回折格子を介して結合された前記光源からの光を記録媒体に照射する導波路と、を少なくとも有し、
前記光源は、
前記導波路と対向する側の面に２次元フォトリック結晶構造を有し、
前記２次元フォトリック結晶構造は、前記回折格子と対向する領域を除く領域が被覆されて、前記回折格子と対向する領域を面発光領域とする面発光レーザであることを特徴とする光記録ヘッド。
- [0013] 2. 前記面発光レーザは、前記２次元フォトリック結晶構造を被覆する部材が第１の電極であり、該第１の電極に対向する第２の電極とで共振器領域を形成する面発光半導体レーザであることを特徴とする前記１に記載の光記録ヘッド。
- [0014] 3. 前記面発光レーザは、前記２次元フォトリック結晶構造を被覆する部材が遮光部材であり、前記面発光レーザの遮光部材がある側の反対側に照射される励起光にて発光することを特徴とする前記１に記載の光記録ヘッド。
- [0015] 4. 前記光源は、前記導波路に固定されていることを特徴とする前記１から３の何れか一項に記載の光記録ヘッド。
- [0016] 5. 前記面発光レーザを発光させる励起光を発する光励起源を有し、
前記励起光は、前記面発光領域を照射しないことを特徴とする前記３に記載の光記録ヘッド。
- [0017] 6. 前記記録媒体は、磁気記録媒体であり、
少なくとも前記光源、前記導波路及び磁気記録部を備え、前記磁気記録媒体に対して相対移動するスライダを有することを特徴とする前記１から５の何れか一項に記載の光記録ヘッド。
- [0018] 7. グレーティングカップラを有する導波路に対向して配置され、該導波路に導入する光を前記グレーティングカップラに対して射出する面発光半導体レーザであって、
第１クラッド層と、第２クラッド層と、前記第１クラッド層と前記第２ク

ラッド層とにより挟まれキャリア注入により所定の波長の光を発生する活性層と、を有する半導体積層部と、

前記第 1 クラッド層に接続される第 1 電極と、

前記第 2 クラッド層に接続される第 2 電極と、を備え、

前記第 1 クラッド層は、屈折率が面内方向に前記所定の波長に対応する周期で変化し、前記活性層と光学的に結合して該活性層で発生した光が導入され、導入された前記所定の波長の光が回折されてレーザ発振し、少なくとも一部の光の進行方向を前記面内方向に対し垂直方向に転換するように構成されている回折格子を有し、

前記回折格子は、前記グレーティングカップラと対向する領域を除く領域が被覆されて、前記グレーティングカップラと対向し、前記垂直方向に転換された光を射出する領域を面発光領域とし、

前記回折格子を被覆する部材が前記第 1 電極であり、該第 1 電極に対向する前記第 2 電極とでレーザ発振する共振器領域が形成されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

[0019] 8. 前記面発光領域は、前記回折格子の端部に設けられ、

前記面発光領域から射出される光の光強度分布は、前記共振器領域から前記面発光領域へ向かう第 1 方向において、前記共振器領域と前記面発光領域との境界の近傍で最大であり、前記境界から前記面発光領域の方向へ離れるに従って減少することを特徴とする前記 7 に記載の面発光半導体レーザ。

[0020] 9. 前記面発光領域から光が射出される側から見た前記回折格子が設けられている領域は、前記第 1 方向を長辺とする短冊形状であることを特徴とする前記 8 に記載の面発光半導体レーザ。

[0021] 10. 前記回折格子は、前記第 1 クラッド層に前記周期を持って配置された凹部に、前記第 1 クラッド層の物質の屈折率と異なる屈折率の物質が充填されていることを特徴とする前記 8 又は 9 に記載の面発光半導体レーザ。

[0022] 11. 前記凹部は穴状の凹部であって、前記共振器領域及び前記面発光領域の前記穴状の凹部は、前記第 1 方向及び該第 1 方向に垂直な方向に沿って

正方格子に配置されていることを特徴とする前記 10 に記載の面発光半導体レーザ。

[0023] 12. 前記共振器領域の前記凹部は、前記第 1 方向及び該第 1 方向に垂直な方向に沿って正方格子に配置された穴状の凹部であり、

前記面発光領域の前記凹部は、前記第 1 方向に垂直な方向に沿ったストライプ溝状の凹部であって、前記第 1 方向の周期が前記正方格子の周期と同じ周期で配置されていることを特徴とする前記 10 に記載の面発光半導体レーザ。

[0024] 13. 前記凹部は穴状の凹部であって、前記共振器領域の前記穴状の凹部は、前記第 1 方向及び該第 1 方向に垂直な方向に沿って正方格子に配置され、

前記面発光領域の前記穴状の凹部は、前記第 1 方向に垂直な方向の周期が前記共振器領域の前記正方格子の周期と同じで、前記第 1 方向の周期が前記正方格子の周期と異なる周期で配置されていることを特徴とする前記 10 に記載の面発光半導体レーザ。

[0025] 14. 前記共振器領域の前記凹部は、前記第 1 方向及び該第 1 方向に垂直な方向に沿って正方格子に配置された穴状の凹部であり、

前記面発光領域の前記凹部は、前記第 1 方向に垂直な方向に沿ったストライプ溝状の凹部であって、前記第 1 方向の周期が前記正方格子の周期と異なる周期で配置されていることを特徴とする前記 10 に記載の面発光半導体レーザ。

[0026] 15. 前記第 1 方向で、且つ、前記第 1 クラッド層の前記活性層に対する面と反対側の主平面に垂直方向の前記凹部の断面において、

前記面発光領域の前記凹部は、前記主平面からの深さが深くなるに従って、前記第 1 方向の前記凹部の幅が小さくなる又は大きくなり、且つ、前記主平面に対して垂直な軸に対して非対称であることを特徴とする前記 13 又は 14 に記載の面発光半導体レーザ。

[0027] 16. 前記第 1 クラッド層の前記活性層に対する面と反対側の主平面から

の前記凹部の深さ方向の断面が同じであって、前記共振器領域での前記凹部の断面積と前記面発光領域での前記凹部の断面積とは異なることを特徴とする前記 11 又は 13 に記載の面発光半導体レーザ。

[0028] 17. 前記第 1 クラッド層の前記活性層に対する面と反対側の主平面からの前記凹部の深さは、前記共振器領域と前記面発光領域とで異なることを特徴とする前記 10 から 16 の何れか一項に記載の面発光半導体レーザ。

[0029] 18. 前記面発光領域における前記凹部の深さは、前記境界の近傍より前記境界より離れる方向の前記面発光領域の端部の方が浅いことを特徴とする前記 17 に記載の面発光半導体レーザ。

[0030] 19. 前記第 1 方向に垂直な方向の前記回折格子がある領域の幅は、光が照射される前記グレーティングカプラの幅以上であることを特徴とする前記 8 から 18 の何れか一項に記載の面発光半導体レーザ。

[0031] 20. 記録媒体に光を用いて情報記録を行う光記録ヘッドにおいて、
前記 7 から 19 の何れか一項に記載の面発光半導体レーザと、
前記記録媒体に対して相対移動するスライダと、
前記記録媒体の記録面に略垂直な前記スライダの側面に、前記面発光半導体レーザにより照射される光が導入され、導入された光を前記記録媒体に向けて伝搬する前記導波路と、を備えていることを特徴とする光記録ヘッド。

[0032] 21. 前記面発光半導体レーザは、前記導波路に固定されていることを特徴とする前記 20 に記載の光記録ヘッド。

[0033] 22. 前記 20 又は 21 に記載の光記録ヘッドと、
前記記録媒体と、を備えていることを特徴とする光記録装置。

発明の効果

[0034] 本発明の面発光半導体レーザによれば、該面発光半導体レーザより発せられ、グレーティングカプラ（回折格子）を照射するレーザ光は、導波路に効率良く導入されるような強度分布を有している。

[0035] 従って、本発明の面発光半導体レーザは、グレーティングカプラを備えた導波路に効率良く導入されるレーザ光を発生することができる。

[0036] また、本発明の光記録ヘッドは、グレーティングカプラ（回折格子）を備えた導波路と、該導波路に効率良く光が導入されるような光強度分布でもって該グレーティングカプラを照射する面発光レーザとを備えている。

[0037] 従って、本発明の光記録ヘッドは、光源からの光を効率良く記録媒体に照射することができる。

図面の簡単な説明

[0038] [図1]光アシスト式磁気記録ヘッド（光記録ヘッド）を搭載した光記録装置の概略構成の例を示す図である。

[図2]光記録ヘッド及びその周辺部を断面で概念的に示す図である。

[図3]導波路の正面図を示す図である。

[図4]図3に示す導波路の軸Cにおける断面及び光源の断面を示す図である。

[図5]光源の概略構成の一例を模式的に示す図で、（a）は上面図であり、（b）は断面図である。

[図6]（a）及び（b）は光源の概略構成の一例を模式的に示す断面図である。

[図7]光源の概略構成の一例を模式的に示す上面図である。

[図8]光源の概略構成の一例を模式的に示す図で、（a）は上面図であり、（b）は断面図である。

[図9]（a）及び（b）は、光源と導波路との組み合わせの例を示す図である。

[図10]光源の概略構成の一例を模式的に示す図で、（a）は上面図であり、（b）は断面図である。

[図11]光源と導波路との組み合わせの例を示す図である。

[図12]プラズモンアンテナの例を示す図である。

[図13]別例の光記録ヘッド及びその周辺部を断面で概念的に示す図である。

[図14]別例の光記録ヘッドにおける導波路の断面及び光源の断面を示す図である。

[図15]光源の一例の概略構成を模式的に示す図で、（a）は上面図であり、

(b) は断面図である。

[図16] 光源の一例の概略構成を模式的に示す図で、(a) は上面図であり、(b) は断面図である。

[図17] (a) 及び (b) は光源の一例の概略構成を模式的に示す断面図である。

[図18] 光源の一例の概略構成を模式的に示す上面図である。

[図19] 光源の一例の概略構成を模式的に示す図で、(a) は上面図であり、(b) は断面図である。

[図20] (a) 及び (b) は、光源と導波路との組み合わせの例を示す図である。

[図21] 光源の一例の概略構成を模式的に示す図で、(a) は上面図であり、(b) は断面図である。

[図22] 光源と導波路との組み合わせの例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0039] 本発明は、グレーティングカプラを有する導波路に効率良く導入することができるレーザ光（光とも称する。）を発する面発光半導体レーザ、及び、該面発光半導体レーザを備える光記録ヘッドに関するものである。この光記録ヘッドは、例えば光磁気記録媒体又は光記録媒体に記録を行う光記録装置に使用できる。

[0040] 以下、本発明の実施の形態である面発光半導体レーザ、該レーザを備える光アシスト式磁気記録ヘッド及び光記録装置を説明するが、本発明は該実施の形態に限られない。尚、各実施の形態の相互で同一の部分や相当する部分には同一の符号を付して重複の説明を適宜省略する。

[0041] 図1に本発明の実施の形態における面発光半導体レーザを備える光アシスト式磁気記録ヘッドを搭載した光記録装置（例えばハードディスク装置）の概略構成例を示す。この光記録装置100は、以下(1)～(6)を筐体101の中に備えている。

(1) 記録用のディスク（記録媒体）102

(2) 支軸 106 を支点として矢印 A の方向 (トラッキング方向) に回転可能に設けられたアーム 105 に支持されたサスペンション 104

(3) アーム 105 に取り付けられ、アーム 105 を回転駆動するトラッキング用アクチュエータ 107

(4) サスペンション 104 及びその先端部に結合部材 104a を介して取り付けられているスライダ 30 を含む光アシスト式磁気記録ヘッド (以下、光記録ヘッド 103 と称する。)

(5) ディスク 102 を矢印 B の方向に回転させるモータ (図示しない)

(6) トラッキング用アクチュエータ 107、モータ及びディスク 102 に記録するために書き込み情報に応じて照射する光、磁界の発生等の光記録ヘッド 103 を用いてディスク 102 に光記録を行う制御を行う制御部 108

光記録装置 100 においては、スライダ 30 がディスク 102 上で浮上しながら相対的に移動するように構成されている。

[0042] 図 2 は、本発明に係る光記録ヘッド 103 の一例として、光記録ヘッド 103 及びその周辺部を断面で概念的に示している。光記録ヘッド 103 は、ディスク 102 に対する情報記録に光を利用する光記録ヘッドであって、スライダ 30、導波路 20、光源である面発光半導体レーザ (以後、光源 70)、磁気記録部 35 及び磁気情報再生部 36 等を備えている。

[0043] 導波路 20 は、導波路型ソリッド・イマージョン・ミラー (PSIM: Planar Solid Immersion Mirror) とも称され、導波路に光を導入するために回折格子 (グレーティングカップラとも称する。) を有するものである。光源 70 は、導波路 20 に導入する光をグレーティングカップラに対し照射する、回折格子の 1 つである 2 次元フォトニック結晶構造 (構造体の面内方向における屈折率が周期的に変化する構造) を備えた面発光半導体レーザである。

[0044] 尚、図 2 の導波路 20、光源 70 において、以降で具体例を説明する場合は、符号 20 及び 70 に別の符号を付加して、導波路 20A から 20C、これら導波路と組み合わせる光源 70A から 70G と示す。

- [0045] スライダ30は、浮上しながら磁気記録媒体であるディスク102に対して相対的に移動するものであって、スライダ30の材質には耐摩耗性の高い硬質の材料を用いることが望ましく、例えば、 Al_2O_3 を含むセラミック材料、 $AlTiC$ やジルコニア、 TiN などを用いれば良い。また、摩耗防止処理として、スライダ30のディスク102側の面に耐摩耗性を増すためにDLC(Diamond Like Carbon)被膜等の表面処理を行っても良い。
- [0046] また、スライダ30のディスク102と対向する面には、浮上特性向上のための空気ベアリング面32(ABS(Air Bearing Surface)面とも称する。)を有している。
- [0047] スライダ30の浮上は、ディスク102に近接した状態で安定させる必要があり、スライダ30に浮上力を抑える圧力を適宜加える必要がある。このため、スライダ30の上に固定されるサスペンション104は、スライダ30のトラッキングを行う機能の他、スライダ30の浮上力を抑える圧力を適宜加える機能を有している。
- [0048] スライダ30において、ディスク102の記録面に対して略垂直でディスク102の流入側の側面に、導波路20及び光源70が備えられている。光源70は、光源70から発せられた光が、導波路20が備えている回折格子であるグレーティングカップラ(以降、カップラ)を照射するように導波路20に近接して固定されている。導波路20と光源70とが一体化してスライダ30に固定されていることは、光源70から発せられる光が、スライダ30の動きに依存することなく安定して導波路20に導入されるため、光磁気記録を安定して行うことができるので好ましい。
- [0049] 光源70から発せられた光は、導波路20内に導入され、導波路20に導入された光は、導波路20の下端面24に進み、ディスク102の加熱のための照射光としてディスク102に向かって射出される。尚、図2では、下端面24の光が射出される位置又はその近傍に設けている後述のプラズモンアンテナ24dを省略している。

- [0050] 下端面 24 に設けてあるプラズモンアンテナ 24d により生じる近接場光である微小な光スポットがディスク 102 に照射されると、ディスク 102 の照射された部分の温度が一時的に上昇してディスク 102 の保磁力が低下する。その光が照射され保磁力の低下した状態の部分に対して、磁気記録部 35 により磁気情報が書き込まれる。
- [0051] 磁気記録部 35 は、光により加熱されたディスク 102 の記録面に効率良く磁気記録を行うために、導波路 20 にできるだけ近くに隣接して備えられるのが好ましく、また、ディスク 102 の回転による記録面の移動方向（矢印 102a 方向）から、導波路 20 の下流側に配置されることが好ましい。また、磁気記録部 35 のディスク退出側又は導波路 20 のディスク進入側にディスク 102 に書き込まれた磁気記録情報を読み出す磁気情報再生部 36 を設けてもよい。
- [0052] 導波路 20 に関して説明する。導波路 20A の正面図（透過図）を図 3、図 3 の軸 C における断面図を図 4 にそれぞれ模式的に示す。図 4 には、導波路 20A に導入される光を発する光源 70A を合わせて示している。導波路 20A は、導波路を構成するコア層 21 と下クラッド層 22 及び上クラッド層 23 を有し、光源 70A から射出する光 50a をコア層 21 に導入するグレーティングカップラ（以下、カップラ 29）が形成されている。
- [0053] 導波路 20A は、屈折率が異なる物質による複数層で構成することができ、コア層 21 の屈折率は、下クラッド層 22 及び上クラッド層 23 の屈折率より大きい。この屈折率差により導波路 20A が構成され、コア層 21 内の光はコア層 21 内部に閉じ込められ、効率良く矢印 25 の方向に進み、下端面 24 に到達する。
- [0054] コア層 21 の屈折率は、1.45 から 4.0 程度とし、下クラッド層 22 及び上クラッド層 23 の屈折率は、1.0 から 2.0 程度とするのが望ましいが、この範囲に限定されるものではない。
- [0055] コア層 21 は、 Ta_2O_5 、 TiO_2 、 $ZnSe$ 等で形成され、厚みは約 20 nm から 500 nm の範囲とするのが望ましいが、この範囲に限定されるも

のではない。また、下クラッド層 22 及び上クラッド層 23 は、 SiO_2 、空気、 Al_2O_3 等で形成され、厚みは約 200 nm から 2000 nm の範囲とするのが望ましいが、この範囲に限定されるものではない。

[0056] コア層 21 は、カプラ 29 により結合された光を焦点 F に集光するため、焦点 F に向かって反射するように実質的に放物線の輪郭を構成するように形成された、側面 26、27 を備えている。図 3 において、輪郭が放物線の左右対称の中心軸を軸 C（準線（図示しない）に垂直で焦点 F を通る線）で示し、放物線の焦点を焦点 F として示している。側面 26、27 には、例えば金、銀、アルミニウム等の反射物質を設けて、光反射損失をより少なくする助けとしてもよい。側面 26、27 の厚さは、コア層 21 の他の寸法に比べて非常に薄いので、コア層 21 の輪郭を実質的に規定する。

[0057] また、導波路 20A のコア層 21 の下端面 24 は、放物線の先端が軸 C に対し略垂直方向に切断されたような平面形状をしている。焦点 F から放射される光 50c は急速に発散するため、下端面 24 の形状を平面とすることは、ディスク 102 に焦点 F をより近くに配置することができ、集光された光が大きく発散する前にディスク 102 に入射するので好ましい。下端面 24 に焦点 F を形成してもよいし、下端面 24 の外側に焦点 F を形成してもよい。尚、本例では、下端面 24 を平面としているが、必ずしも平面である必要ではない。

[0058] コア層 21 の焦点 F 又はその近傍に、近接場光発生用のプラズモンアンテナ 24d を配置してもよい。プラズモンアンテナ 24d の具体例を図 12 に示す。

[0059] 図 12 において、(a) は三角形の平板状金属薄膜からなるプラズモンアンテナ 24d、(b) はボウタイ型の平板状金属薄膜からなるプラズモンアンテナ 24d であり、何れも曲率半径 20 nm 以下の頂点 P を有するアンテナからなっている。また、(c) は開口を有する平板状金属薄膜からなるプラズモンアンテナ 24d であり、曲率半径 20 nm 以下の頂点 P を有するアンテナからなっている。何れのプラズモンアンテナ 24d の金属薄膜の材料

は、アルミニウム、金、銀等が挙げられる。

[0060] これらのプラズモンアンテナ 24 d に光が作用すると、その頂点 P 近辺に近接場光が発生して、非常に小さいスポットサイズの光を用いた記録を行うことが可能となる。つまり、コア層 21 の焦点 F 又はその近傍にプラズモンアンテナ 24 d を設けることにより局所プラズモンを発生させれば、焦点に形成された光スポットのサイズをより小さくすることができ、高密度記録に有利となる。尚、焦点 F にプラズモンアンテナ 24 d の頂点 P が位置することが好ましい。

[0061] カプラ 29 に照射され導波路 20 A に導入される光は、コア層 21 の導波モードの有効屈折率とカプラ 29 の周期から、最も導入効率の良いカプラ 29 への適切な入射角度が決定される。適切な入射角度は、入射光の波長にも依存する。この入射角度は、必要に応じて導波路 20 A に対して略垂直（入射角度は 0° ）としても良いし、適宜、角度を持たせるようにしても良い。図 4 においては、入射角度を 0° としている例を示している。

[0062] 図 3 において、光源 70 A がカプラ 29 を照射する光 50 a の照射領域 50 b 及び軸 C 上の光強度分布を模式的に示す。光 50 a は、導波路 20 A に導入された光が進む方向（+y 方向、矢印 25 の方向）の先頭側の位置の光強度が最も強く、導波路 20 A のコア層に導入された光が進む方向と反対方向（-y 方向）に向かうに従って指数関数的に減少する傾斜を有する形状の強度分布であって、カプラ 29 の幅方向（x 方向）に厚みを有する柱形状である。このような傾斜が指数関数形状の光強度分布の光 50 a は、カプラ 29 を照射する照射領域が一般的な円形状で、円形状の中心を通る直径方向の光強度分布が、円の中心の強度が最も大きいガウシアン形状の光に比較して、効率良くカプラ 29 からコア層 21 に導入される。

[0063] カプラ 29 を照射する光の強度分布が上述の傾斜が指数関数形状であると、効率良くカプラ 29 からコア層 21 に導入されることは、光の逆進性より、コア層 21 を矢印 25 と逆向きに進む光がカプラ 29 から射出される場合より推測できる。すなわち、コア層 21 を逆向きに進んで来る光は、カプラ

29による損失が少ないカプラ29との境界付近から最も強度が強い光が外部に回折され、カプラ29側に進むに従ってカプラ29による損失が大きくなり外部に回折される光強度は低下する。

[0064] 傾斜が指数関数形状の光強度分布を有する光源がある（1次元グレーティングを用いた回折格子結合型面発光レーザ（M. Imada 他、IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 35, no. 9, pp. 1277（1999）））。しかしながら傾斜が指数関数形状の厚みに該当する発振領域の幅が数 μm 程度と、カプラ29の例えば50 μm 程度といった幅と比較して狭い。上記の発振領域の幅が数 μm 程度のレーザ光源において、カプラ29の幅に合うように発振領域の幅を広げようとするとは波長や幅方向の光強度分布がマルチモード化してしまい、カプラ29に対し最適な形状及び波長とすることができない。

[0065] 発光領域の幅を広げる手法として、例えば、特許第3983933号公報等に記載されている2次元回折格子（2次元フォトリックバンド構造）を備え、面発光を可能とする半導体レーザがある。この半導体レーザから射出されるビームについて、遠視野像において非常に狭い出射角（1.8°）が得られるとあるがそのビーム形状（光強度分布）については開示されていない。

[0066] 発明者らは、カプラ29より効率良く光がコア層21に導入される上記の厚みを持った傾斜が指数関数形状のような光強度分布の光を発生する面発光半導体レーザについて精力的に検討を行い本発明に到った。本発明に係る面発光半導体レーザ（光源）に関して以下に説明する。

[0067] 図5は、本発明に係る光源70Aである2次元フォトリック結晶面発光半導体レーザの概略構成の一例を模式的に示している。

[0068] 図5（a）は光源70Aの上面図、図5（b）は図5（a）のG-G'線矢視断面図である。光源70Aは、基板1と、基板1の一方の主面上に形成された第2クラッド層2と、第2クラッド層2上に形成された活性層3と、活性層3上に形成された第1クラッド層5及びコンタクト層6とを有する半

導体積層部と、コンタクト層 6 上に形成された第 1 電極 7 と、基板 1 における前記一方の主面に対向する他方の主面上に形成された第 2 電極 8 とを備えている。

[0069] 第 1 電極 7 は、後述の 2 次元フォトリソニック結晶構造を成す凹部 10 の一部を覆うように設けられ、第 2 電極 8 は、他方の主面上の全面に設けられている。このような構成とすることで、2 次元フォトリソニック結晶構造は、第 1 電極 7 と第 2 電極 8 との間にある部分と、第 1 電極が無く開放されている状態の部分とがあり、第 1 電極 7 が形成された側の面から選択的にレーザ光が射出される。尚、第 1 電極 7 及び第 2 電極は、光源 70A が射出する光を透過しない。

[0070] 基板 1 は例えば n 型の GaAs 基板である。第 2 クラッド層 2 は、例えば電子をキャリアとする n 型の半導体層であり、例えば、n 型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ で形成されている。第 1 クラッド層 5 は、例えばホール（正孔）をキャリアとする p 型の半導体層であり、例えば、p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ で形成されている。コンタクト層 6 は、例えばホール（正孔）をキャリアとする p 型の半導体層であり、例えば、p+ 型 GaAs で形成されている。

[0071] 第 1 クラッド層 5 及び第 2 クラッド層 2 における各半導体層の導電型は上述のものに限られるわけではない。例えば、埋め込みトンネル接合（BTJ : Buried Tunnel Junction）型のように、活性層 3 の上層（第 1 クラッド層 5 側）に、異なる導電型である p 型及び n 型の半導体層を有する構造でもよい。

[0072] 活性層 3 は、上述のように、第 2 クラッド層 2 と、コンタクト層 6 及び第 1 クラッド層 5 とからなる半導体層とに挟まれており、キャリア注入によって光を発生（発光）する。活性層 3 は、公知の一般的な材料及び構造を採用することができ、使用用途に応じた所定の波長を発光するように材料や構造などが選択される。活性層 3 は、例えば、3 周期の InGaAs 井戸層、GaAs 障壁層及び分離閉じ込め層（SCH (Separate Confinement Heterostructure) 層）により構成されてい

る歪み量子井戸構造とすればよい。

[0073] 第1クラッド層5及び第2クラッド層2は、活性層3の屈折率よりも低い屈折率の材料で形成され、活性層3に光を閉じ込めようとする機能を兼ね備えている。また、第1クラッド層5の屈折率は、第2クラッド層2の屈折率よりも高いことが好ましい。第1クラッド層5の屈折率を高くすることで、2次元フォトリック結晶構造が形成されたとしても、第1クラッド層5の平均屈折率が低下しすぎることがない。それにより、フォトリック結晶構造が形成された層に分布する光の割合の減少を防ぐことから、回折格子（フォトリック結晶構造）に光が結合する割合（光結合係数と称する。）の低下を防ぐことができる。

[0074] 第1クラッド層5及び第2クラッド層2は、活性層3を挟んでダブルヘテロ接合を形成し、キャリアを閉じ込めて、発光に寄与するキャリアを活性層3に集中させている。コンタクト層6は、第1電極7と第1クラッド層5との間に設置され、これらを電氣的に接続させている。第1クラッド層5と活性層3との間に、キャリアオーバーフローによって活性層3から第1クラッド層5へ向かう電子に対する電位障壁として機能するキャリアストップ層等の他の層が介在していてもよい。

[0075] 第1クラッド層5及びコンタクト層6には、図5（a）、図5（b）に示すように、複数の穴状の凹部10がx方向及びx方向に垂直なy方向に沿って周期的に配置されるように形成された、2次元フォトリック結晶構造がある。

[0076] 2次元フォトリック結晶構造は、2次元に屈折率周期を有するものであって、第1クラッド層5及びコンタクト層6を形成する物質の屈折率と異なる屈折率の物質が格子点として互いに直交するx及びyの2方向に所定の周期（格子間隔、格子定数）で配列されることによって形成されている。格子点は、本実施の形態では、第1クラッド層5及びコンタクト層6に形成された円柱状の凹部10から構成される正方格子である。凹部10の形状は、円柱状としているが、この形状に限定されることはなく、四角柱、三角柱、円錐

状等であってよい。

[0077] 凹部 10 の窪みの内側は、第 1 クラッド層 5 を形成する材料の屈折率と異なる屈折率の材料を充填すれば良く、例えば、第 1 クラッド層 5 の材料を $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ （屈折率 3.306）とし、凹部 10 を充填する材料を SiO_2 （屈折率 1.5）や SiN （屈折率 2.0）等とすることが挙げられる。尚、図 15（b）に示すように、例えば凹部 10 を埋めている材料である SiO_2 を保護膜としてコンタクト層 6 の上の全面に設けてもよい。

[0078] 凹部 10 は、製造方法にもよるが、コンタクト層 6 側からエッチングにより形成する場合、第 1 電極 7 と接するコンタクト層 6 の表面側には少なくとも形成され、この 2 次元フォトニック結晶構造は、活性層 3 でレーザ発振する光の波長を選択する。図 5（a）に示すように、コンタクト層 6 側から見て、凹部 10 が形成されている領域は短冊形状である。活性層 3 から漏れ、2 次元フォトニック結晶構造に導入された光の内、この短冊形状内の凹部 10 の周期間隔に波長が一致する光が共振する。

[0079] 凹部 10 の底面が活性層 3 に近いほど、2 次元フォトニック結晶構造への光結合効率をより良くすることができ、凹部 10 はコンタクト層 6 及び第 1 クラッド層 5 まで到達していてもよいが、活性層 3 には到達しないことが好ましい。凹部 10 が活性層 3 に到達、すなわちフォトニック結晶と活性層 3 とが近接すると、凹部 10 を形成するエッチングの際に活性層 3 にダメージを与える可能性がある。

[0080] 上記で説明した光源 70A である 2 次元フォトニック結晶面発光半導体レーザは、グレーティング結合型面発光レーザの一つであって、グレーティング（回折格子）として好ましい形態の 2 次元フォトニック結晶構造を備えている。面発光レーザは、レーザ光が素子の主面に垂直に放射されるようになっており、本発明に係る光源 70A は、活性層 3 が主面と平行にあり、回折格子を備えている。この回折格子は、光の進行方向を略 180° 及び略 90° に同時に転換させ、光源 70A においては、略 180° の転換によりレーザ共振器が形成され、略 90° の転換により光が垂直方向に放射される。

- [0081] こうした光の進行方向を転換させる回折格子として、上記の２次元フォトリック結晶構造の他、例えば、２次元フォトリック準結晶構造が挙げられる。２次元フォトリック準結晶構造は、上記で説明した例えば x 方向及び y 方向に平行な並進対称性を持たないで回転対称性を持つ結晶構造である。
- [0082] 第１電極７は、２次元フォトリック結晶構造で共振する光を透過しない材料で構成され、図５（ａ）に示すように、凹部１０が形成されている領域の短冊形状の短辺側の端部を除く他の部分を覆うように形成されている。
- [0083] 第１電極７が覆っている凹部１０の領域は、第１電極７と第２電極８との間にありレーザ発振する領域であって共振器領域５１と称する。共振器領域５１は、第１電極７及び第２電極８の間に電圧が印加されることにより活性層３にキャリアが注入され、所定値以上の電圧値で活性層３が発光するようになっており、活性層３で生じた光は、２次元フォトリック結晶構造に漏れて導入され、レーザ発振する。共振器領域５１において、幅 W_p は、カプラ２９の幅（ x 方向）方向を不足無く照射できるように、カプラ２９の幅以上であることが好ましく、長さ L_p はレーザ発振及び発振波長が安定する長さ以上とするのが好ましい。
- [0084] 共振器領域５１で発振した光は、２次元フォトリック結晶構造内を $-y$ 方向（第１方向）に進むことができ、第１電極７に覆われていない（２次元フォトリック結晶構造が開放されている）領域に達した光は、コヒーレントなレーザ光として発光面５３から外部に射出され、図５（ｂ）に射出される光を光５０ａで示す。第１電極７に覆われていなくて外部にレーザ光が射出できるように開放されている凹部１０の領域は、面発光領域５２と称し、上記の第１電極７で覆われていない面が発光面５３である。
- [0085] この面発光領域５２を $-y$ 方向に進む光は、活性層３へのキャリアの注入がほとんどないため活性層３で発生する光が少なく、外部への回折と共に $+y$ 方向への回折が生じるため単調減少する。このため、第１電極７と発光面５３との境界（共振器領域５１と面発光領域５２との境界）から発光面５３の方向（ $-y$ 方向、面発光領域５２の方向）に離れるに従い、外部に射出さ

れる光強度が指数関数的に減少する。

[0086] よって、図5（b）に示すように、発光面53から射出される光強度Iは、第1電極7と発光面53との境界付近が最大で、 $-y$ 方向に向かって減少する傾斜が指数関数形状となり、 x 方向に幅 W_p の厚みを有している。この光強度分布は、導波路20Aに効率良く導入されるカプラ29に照射される光の好適な強度分布である。

[0087] 尚、発光面53と第1電極7との境界は、短冊形状の長辺方向に対し略直角方向に沿っていることが、導波路20Aと光源70Aとの配置が容易となるので好ましい。

[0088] このように光源70Aから発せられるレーザ光の光強度分布は、導波路20Aに効率良く光が導入されるような光強度分布と略相似形状となり、両者の重なり部分の積で決まる導波路への光の導入効率が高くできる。導入効率をより高くするためには、光を照射する側の光源70と光が照射され導入する側の導波路20との光強度分布形状がより重なるようにすることが望ましい。そのためには、グレーティングの効率を表す結合係数 κ が等しくなるようにする必要がある。結合係数 κ はグレーティングの深さ、アスペクト比及び屈折率差等で設計により設定できるため、光源70と導波路20の結合係数 κ が一致するように導波路20のグレーティング及び2次元フォトリック結晶構造を設計することが好ましい。

[0089] 尚、発光面53に、例えばITO（Indium Tin Oxide：酸化インジウムスズ）等の透明電極を設けて、上記で説明した発光面53から射出するレーザ光の光強度分布を嵩上げするようにしてもよい。共振器領域51と面発光領域52が同一構造の場合、面発光領域52は電流が注入されないため吸収領域となってしまうレーザ発光の閾値が上昇する。そこで面発光領域52のバンドギャップを短波長化させ吸収損失をなくすために、量子井戸の無秩序化（Quantum-well intermixing：QWI）を用いることが好ましい。

[0090] また、共振器領域51と面発光領域52の凹部10の深さを異なるように

してもよい。例えば、図6（a）に示す光源70Bように、共振器領域51における凹部10の深さは、活性層3と2次元フォトリック結晶構造との光結合をより大きくするように、できるだけ活性層3の近くに凹部10の底が近づくようにし、面発光領域52の凹部10aの深さは、共振器領域51の凹部10より浅く一定の深さとする。または、図6（b）に示す光源70Cように、面発光領域52の凹部10bの深さは、第1電極7と発光面53との境界を起点にして、該境界から発光面53側の方向（-y方向）に向かって離れるに従って浅くなるようにしてもよい。

[0091] このようにして、光結合効率を変えて、発光面53から射出する光強度Iの最大値からの減少状態を調整し、発光面53から射出する光の強度分布形状が、カプラ29を照射する光強度分布の最適な形状に、より適合することができる。尚、図4及び図5（b）に示す凹部10は活性層3に達する直前にその底があり、共振器領域51と面発光領域52における凹部10の深さは同じとしている。凹部10の底の位置は、活性層3に達する直前に必ずしもする必要はなく、凹部10の形成時に活性層3に与える損傷等の悪影響や活性層3と2次元フォトリック結晶構造との光結合効率等を考慮して適宜決めればよい。

[0092] また、上記では、共振器領域51と面発光領域52とにおける活性層3と2次元フォトリック結晶構造との光結合を変える方法として、凹部10の深さを異なるようにしているが、例えば凹部10が円柱形状のように深さ方向の断面が一定とし、その断面積を変えてもよい。例えば、凹部10が充填される材料の屈折率が、その周囲の第1クラッド層5の屈折率より小さい場合、断面積を小さくすると結合効率を大きくすることができる。尚、活性層3と2次元フォトリック結晶構造との光結合を変える方法として、凹部10の深さと断面積を挙げているが、これらを別々に用いても良いし、組み合わせで用いてもよい。

[0093] 面発光領域52のフォトリック結晶構造を上記で説明した凹部の格子点配置に代えて、図7に示す光源70Dように、ストライプ溝状の凹部10cの

並列配置にしてもよい。共振器領域 5 1 のフォトニック結晶構造が 2 次元であるので、レーザ光は単一モードで発振し、幅 W_p は確保され、この幅 W_p でもって発振、増幅されたレーザ光は面発光領域 5 2 に達し、これまで説明したような光強度分布のレーザ光を発光面 5 3 より射出される。尚、図 7 は、光源 7 0 D の上面図のみを示し、断面図は図 5 (b)、図 6 (a)、(b) と同様であるので省略するが、面発光領域 5 2 の凹部 1 0 c の深さは、共振器領域 5 1 と同じでも良いし、浅くしてもよい。

[0094] これまで説明した導波路 2 0 のカプラ 2 9 に入射するレーザ光は、カプラ 2 9 の面に対して略垂直としているが、所定の入射角度で入射させることが要求される場合がある。この場合、導波路 2 0 のカプラ 2 9 への入射角度に合わせるように、光源 7 0 の姿勢を変えることなく、発光面 5 3 に対し垂直な方向（法線）から傾けて射出角度を持たせてレーザ光を射出するようにして対応することができる。

[0095] 発光面 5 3 から射出するレーザ光の射出角度を持たせるため、2 次元フォトニック結晶構造において、面発光領域 5 2 の周期を共振器領域 5 1 の周期と異なるようにする。この例を図 8 (a)、(b) の光源 7 0 E に示す。図 8 (a) は光源 7 0 E の上面図、図 8 (b) は図 8 (a) の G-G' 線矢視断面図である。

[0096] 面発光領域 5 2 において、凹部 1 0 d の x 方向の周期は共振器領域 5 1 の周期と同じであり、y 方向の周期は共振器領域 5 1 の周期より長くしている。このように y 方向の周期を変えることにより、図 8 (b) に示すように、発光面 5 3 から射出されるレーザ光は、 ± 1 次回折光として、y-z 面内での射出角度を +y 方向（光 5 0 a-1）及び -y 方向（光 5 0 a-2）の 2 方向に偏向することができる。y 方向の周期は、導波路 2 0 のカプラ 2 9 に対する入射角度に整合するように適宜変えればよい。図 8 (a)、(b) に示した面発光領域 5 2 において、凹部 1 0 d の y 方向の周期は共振器領域 5 1 の周期より長くしているが、これに限定されることはなく周期が互いに異なればよいのであって、短くしてもよい。尚、凹部 1 0 d の x 方向の周期を

さらに変えると、 $z-x$ 面内での射出角度を変えることができ、発光面53から射出される光は、上記の $\pm y$ 方向に加えて $\pm x$ 方向の4方向となる。

[0097] 図8(a)に示すように、面発光領域52の凹部10dの配置は格子点としているが、図7に示すように、面発光領域52の凹部10dをストライプ溝状の凹部として、 y 方向の周期を上記で説明した通り共振器領域51の周期と互いに異なればよく、長くしてもよいし短くしてもよい。

[0098] 発光面53に対し垂直な方向から傾いてレーザ光を射出する光源70Eと導波路20との組み合わせた例を図9(a)、(b)に示す。図9(a)は、光源70Eから射出される2方向のレーザ光の内、下向き($-y$ 方向)に射出されるレーザ光50a-1を効率良く導入できる導波路20Bと光源70Eとの組み合わせを示している。この場合、レーザ光50a-2はほとんど導波路20Bには導入されない。図9(b)は、光源70Eから射出される2方向のレーザ光の内、上向き($+y$ 方向)に射出されるレーザ光50a-2を効率良く導入できる導波路20Cと光源70Eとの組み合わせを示している。この場合、レーザ光50a-1はほとんど導波路20Bには導入されない。

[0099] 図8(a)、(b)に示して説明したように、面発光領域52の凹部10dの y 方向の周期を共振器領域51と異なるようにすることによって、発光面53に対し垂直方向から傾けられたレーザ光が、その強度が略等しく2方向に射出される。図9(a)、(b)で示し、説明したように、2方向に射出されたレーザ光のうち一方は、導波路20に導入されるようにカプラ29に入射しないため、損失となる。この損失を少なくなるようにレーザ光の射出角度を発光面53に対し垂直方向より傾ける際、光源70から射出される2方向の内、一方の光強度が他方に比較して強くなるようにするのが好ましく、この具体例を、図10(a)、(b)の光源70Fに示す。図10(a)は光源70Fの上面図、図10(b)は図10(a)のG-G'線矢視断面図である。

[0100] 図10(b)に示すように、凹部10eの $y-z$ 面での断面形状(G-G

’線矢視断面図)において、発光面53側と活性層3側との凹部10eのy方向の幅が異なり、且つz軸に対して非対称の楔形状となるようにする。図10(b)の凹部10eにおいては、左側(+y方向の)の境界は主面に略垂直であるが、右側(-y方向)の境界は紙面に向かって時計方向に傾いている。

[0101] このようにy-z面内でz軸に対して非対称とすることにより、発光面53から傾いて射出される±1次回折光の強度を一方が他方に比較して強くなるようにすることができ、+y方向、-y方向の何れの方をより強くするかについては、図9に示した導波路20B、20Cのように、レーザ光を入射させる導波路20の仕様に合わせるようにすればよい。

[0102] 図9(a)において、光源70Eに代えて光源70Fを導波路20Bと組み合わせることにより、光源70Eと比較して光源70Fの方が、レーザ光を効率良く導波路20Bに導入することができる。また、導波路20Cに対応する場合には、図10(b)における凹部の楔形状を左右(y方向)逆の状態にすればよい。さらに、上記で説明した非対称性を利用して、±1次回折光の何れか一方を他方より大きくすることに加えて、上方向(+z方向)又は下方向(-z方向)の回折光の何れか一方を他方より大きくすることもでき、図10(b)の例では、+z方向の光強度が-z方向より小さくなる。

[0103] 凹部10eの深さ方向に対して垂直方向の断面形状(開口断面形状)は、図10(a)に示すように、三角形としているが、これに限定されることはなく、四角形、楕円形等でもよい。

[0104] 面発光領域52のフォトニック結晶構造は、レーザ光を照射する対象の導波路20に効率良くレーザ光が導入されるように、これまで説明した凹部10の深さ、ストライプ溝状の凹部、y方向の周期変更及び凹部の断面形状の楔形状化のそれぞれを単独に用いても良いし、複数を組み合わせてもよい。

[0105] これまで説明した導波路20及び光源70を図4に示すように、導波路20Aのカプラ29と光源70Aの発光面53とが向き合うように配置し固定

する。図4に示すように、発光面53の下端部から射出する光50aがカプラ29の下端部に入射するように配置するのが好ましい。より詳しくは、発光面53から射出されるレーザ光の強度分布の最も大きい部分が、コア層21に光が導入されるカプラ29の照射領域で、コア層21に導入された光が進む方向の先端部を照射するようにするのが好ましい。

[0106] 導波路20と光源70との固定は、例えば接着剤により固定することができ、接着剤としては、ポリイミド系、UV硬化樹脂及び熱硬化樹脂等で光源70の光を透過するものであれば特に限定されない。また、上記の樹脂の屈折率は、カプラ29及び発光面53を成している材料の屈折率と同じ又は近いものが光損失を小さくする点で好ましい。また、光源70からの光が接着剤を介して導波路20に導入される間で、光の反射が抑えられるように接着剤の屈折率及び厚みを調整するようにしてもよい。

[0107] これまで説明した本実施の形態では、第1クラッド層5の上面がレーザ光を射出する射出面（発光面53）としているが、第2電極8側を発光面とすることも可能であり、その具体例を図11の光源70Gに示す。

[0108] 光源70Gにおいて、基板1は、取り出す光の波長帯に対して透明な材料とし、第1電極71を2次元フォトニック結晶構造全体を覆うようにコンタクト層6に形成し、第2電極81に開口を形成すればよい。例えば、InGaAsP系活性層（波長 $1.3\mu\text{m}\sim 1.5\mu\text{m}$ ）であればInP基板、InGaAs活性層（波長 $0.9\mu\text{m}\sim 1.1\mu\text{m}$ ）であればGaAs基板、InGaN活性層（波長 $0.4\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ ）であればGaNもしくはサファイア基板等がある。尚、第1電極71及び第2電極81は、取り出す光を透過しない金等の材料からなる。

[0109] 光源70Gは、図5（a）、（b）を用いて説明した光源70Aと同様に説明することができるので詳しい説明は省略する。第2電極81は、2次元フォトニック結晶構造で共振する光を透過しない材料であり、2次元フォトニック結晶構造の短冊形状の短辺側の端部を除く他の部分を覆うように形成されている。よって、2次元フォトニック結晶構造の第1電極71と第2電

極 8 1 との間にある領域は、共振器領域 5 1 であり、第 2 電極 8 1 に覆われていなくて外部にレーザ光が射出できるように開放されている凹部 1 0 の領域は、面発光領域 5 2 である。

[0110] 基板 1 において、レーザ光が射出される方向からみて、2次元フォトリソ結晶構造の短冊形状の短辺側の端部の第 2 電極 8 1 により覆われない領域は発光面である。なお、この場合も、光源 7 0 A で説明した場合と同じように発光面に透明電極を設けてもよい。

[0111] また、光源 7 0 G の面発光領域 5 2 のフォトリソ結晶構造は、レーザ光を射出する対象の導波路に効率良くレーザ光が導入されるように、これまで説明した凹部の深さの変更、ストライプ溝状の凹部、y 方向の周期変更及び凹部の断面形状の楔形化をそれぞれを単独に導入しても良いし、複数を組み合わせて導入してもよい。

[0112] これまで説明した光源 7 0 は、第 1 電極 7 及び第 2 電極 8 を備え、これらによる電流注入によりレーザ光を発する面発光半導体レーザであるが、電流注入に代わり光励起によりレーザ光を発する面発光半導体レーザとすることもできる。光励起による面発光半導体レーザ及びこのレーザを備える光記録ヘッドに関して説明する。尚、これまで説明した光源 7 0 及び光源 7 0 を備えた光記録ヘッド 1 0 3 と同一の部分や相当する部分には同一の符号を付して重複の説明を適宜省略する。

[0113] 図 1 3 は、本発明に係る光記録ヘッド 1 0 3 及びその周辺部を断面で概念的に示している。光記録ヘッド 1 0 3 は、ディスク 1 0 2 に対する情報記録に光を利用する光記録ヘッドであって、スライダ 3 0、導波路 2 0、光源 8 0、磁気記録部 3 5 及び磁気情報再生部 3 6 等を備えている。

[0114] 光記録ヘッド 1 0 3 において、導波路 2 0 にレーザ光を導入するための光源 8 0 (レーザ) は面発光半導体レーザとして以降の説明をするが、半導体レーザ以外に、有機色素レーザ又は固体レーザとすることができる。

[0115] スライダ 3 0 において、ディスク 1 0 2 の記録面に対して略垂直でディスク 1 0 2 の流入側の側面には、導波路 2 0 及び光源 8 0 が備えられている。

- [0116] 光源 80 は、光源 70 と同様に 2 次元フォトリック結晶構造を備えた面発光半導体レーザであって、導波路 20 に光が導入されるようにグレーティングカプラに対し光を照射する。また、光源 80 は、該光源 80 に別の光源である光励起源 110 からの励起光 110a が照射されることによりレーザ光を発生する光励起型である。尚、励起光 110a は、光源 80 の 2 次元フォトリック結晶構造に対して照射する。
- [0117] スライダ 30 の側面に上記の薄板状の導波路 20 と面発光可能な光源 80 とが重ねた状態で設けられているため、光記録ヘッド 103 は小型で薄くすることができる。
- [0118] 光励起源 110 は、光源 80 を光励起するために照射する光を発するものであって、例えば光源 80 とは別の半導体レーザや光ファイバ射出端部等が挙げられる。図 13 において、光励起源 110 は、半導体レーザであり、該半導体レーザから射出される光を好ましくは光源 80 が備えている 2 次元フォトリック結晶構造を十分に照射するように略平行光又は収束光とする複数枚のレンズを備えたレンズ 112 と共にアーム 105 に固定されている。
- [0119] 光源 80 から発せられた光は、導波路 20 内に導入され、導波路 20 に導入された光は、導波路 20 の下端面 24 に進み、ディスク 102 の加熱のための照射光としてディスク 102 に向かって射出される。尚、図 13 では、下端面 24 の光が射出される位置又はその近傍に設けているプラズモンアンテナ 24d を省略している。
- [0120] 図 13 の導波路 20 は、これまで説明した具体例の導波路 20A から 20C を示し、光源 80 は、これら導波路と適宜組み合わせる、以降で説明する具体例の光源 80A から 80H を示している。
- [0121] 図 14 は、導波路 20A と導波路 20A に導入される光を発する光源 80A とを合わせて示している。光源 80A から射出する光 50a は、導波路 20A のカプラ 29 を照射する。
- [0122] カプラ 29 を照射する光の入射角度は、必要に応じて導波路 20 に対して略垂直（入射角度は 0° ）としても良いし、入射角度を持たせるようにして

も良い。図 1 4 においては、入射角度を 0° としている例を示している。

[0123] これまで説明した光源 7 0 と同様にカプラ 2 9 を照射する光強度分布が指数関数形状である光を発する光源 8 0 B の説明する前に、光源 8 0 B の基本的な形態である光励起により面発光する光源 8 0 A に関して以下に説明する。図 1 5 (a) は光源 8 0 A の上面図、図 1 5 (b) は図 1 5 (a) の G-G' 線矢視断面図である。光源 8 0 A は、基板 1 と、基板 1 の一方の主面上に形成された第 2 クラッド層 2 と、第 2 クラッド層 2 上に形成された活性層 3 と、活性層 3 上に形成された第 1 クラッド層 5 及びコンタクト層 6 とを有する半導体積層部と、活性層 3 と光学的に結合し発光するレーザ光の波長を規定する 2 次元フォトニック結晶構造とを備えている。

[0124] 図 1 3 に示す光記録ヘッド 1 0 3 のスライダ 3 0 に設けられている光源 8 0 A は、アーム 1 0 5 に配置された光励起源 1 1 0 から射出された励起光 1 1 0 a が基板 1 側から照射される。照射された励起光 1 1 0 a は基板 1 を透過し、光源 8 0 A の活性層 3 に吸収され、電子・正孔対（キャリア）が注入されて活性層 3 で光が生じ、活性層 3 で生じた光は、2 次元フォトニック結晶構造に漏れて導入され、レーザ発振し、発振したレーザ光は、光 5 0 a のように発光面 5 3 より垂直方向に射出する。このため、光源 8 0 A は、電流注入のための外部からの配線が不要であり、又、半導体レーザの抵抗成分によるジュール熱が発生しない。従って、配線により光記録ヘッド 1 0 3 の動きが制約されることはなく、また、光記録ヘッド 1 0 3 に熱変形が生じ難い。よって、光記録ヘッド 1 0 3 は安定した光記録を行うことができる。

[0125] 尚、図 1 5 に示す発光面 5 3 は、図 1 4 に示すようにカプラ 2 9 に対し広く、カプラ 2 9 を照射しない光 5 0 a は損失となり、また外部に影響を及ぼす恐れもある。このため、カプラ 2 9 を照射しない光を遮光するように発光面 5 3 の一部を覆うようにするのが好ましい。

[0126] 光励起源 1 1 0 から発せられる励起光 1 1 0 a の波長は、活性層 3 が吸収する波長であれば良く、例えば光源 8 0 A がレーザ発振する波長が 980 nm であれば、励起光 1 1 0 a の波長は、 780 nm 等のレーザ発振する波長

980nmより短波長であれば良い。但し、図15に示すように、基板1側から励起光110aを照射するため、励起光110aに対して基板1が透明である必要がある。以下で説明する基板1がGaAs基板の場合、励起光110aは、GaAs基板を透過する波長である必要があることから870nmより長く、且つ、上記で説明した通り980nmより短い波長であることが必要である。

[0127] 尚、基板1が励起光110aを透過できない場合、以降で図22を用いて説明する光源80Hのようにすることにより対応することができる。

[0128] 光源80の構成は、光源70とほぼ同じであるが、光励起に係わり光源70と異なる主な点を以下に説明する。

[0129] 活性層3は、光源70の説明に加え、以下を考慮する必要がある。活性層3として、基板1よりも長波長な材料系（例えばInP基板上のInGaAsP系活性層：波長1.3 μ m～1.5 μ m、GaAs基板上のInGaAs活性層：波長0.9 μ m～1.1 μ m、GaNもしくはサファイア基板上のInGaN活性層：波長0.4 μ m～0.5 μ m）を用いた場合は、活性層3の発光波長（吸収波長でもある。）に対して基板1が透明である。このため、図14、15に示す光源80Aは、基板1側から励起光110aを入射させることが可能である。

[0130] 本実施の形態ではコンタクト層6を設けているが、光励起であるため設けなくてもよい。

[0131] 図15（a）に示すように、コンタクト層6側から見て、凹部10が形成されている領域は幅 W_p 、長さ L_{p1} の短冊形状である。幅 W_p により、発光領域に幅を持たせることができ、例えば50 μ m程度のカプラ29の幅（x方向）方向を不足無く照射できるようにするには、幅 W_p はカプラ29の幅（x方向）以上であることが好ましく、長さ L_{p1} はレーザ発振及び発振波長が安定する長さ以上とするのが好ましい。光源70と同様に、活性層3から漏れ、2次元フォトリソニック結晶構造に導入された光の内、この短冊形状内の凹部10の周期間隔に波長が一致する光が共振して増幅され、レーザ発

振し短冊形状の領域の発光面 53 から垂直方向にコヒーレントなレーザ光として外部に射出される。

[0132] 光源 80A において、光励起により生じたレーザ光は、第 1 クラッド層 5 に凹部 10 が形成されることで設けられた 2 次元フォトニック結晶構造により、短冊形状の発光面 53 から略垂直方向に射出され、照射するカプラ 29 を介して導波路 20A 内に導入される。

[0133] 励起光 110a は、2 次元フォトニック結晶構造の領域において、カプラ 29 を照射する光を射出する領域を除いた領域を照射することが好ましい。カプラ 29 を照射する光を射出する領域に励起光 110a が照射されると、励起光 110a の一部がカプラ 29 に入射してしまい、ノイズを生じてしまう場合が生じてしまう。励起光 110a が 2 次元フォトニック結晶構造を照射する領域を共振器領域 51、カプラ 29 を照射する光を射出する領域を面発光領域 52 として図 14 に示す。

[0134] 光源 80A は、励起光 110a の波長が、ファブリーペロー型レーザで生じるモードホップ現象の様な、動作環境温度の変化などで変動しても影響を受けることなく良好に一定波長のレーザ光を発振することができる。また光源 80A は、フォトニック結晶が形成されているおおよその領域が励起光 110a により照射されれば良好にレーザ発振することができる。このため、光源 80A を照射する励起光 110a の位置ずれや入射角度が変動しても、光源 80A は、ほとんど影響を受けることなく良好にレーザ発振することができる。

[0135] このように励起光 110a が光源 80A を照射する際の照射位置、入射角度及び波長は、光源 80A が導波路 20 に備わるカプラ 29 を照射する場合と比較して、その誤差の許容範囲が広い。

[0136] このため、図 13 の光記録ヘッド 103 において、スライダ 30 に導波路 20A 及び光源 80A を設けて一体化した状態とすると、光励起源 110 と光記録ヘッド 103 との位置関係の調整を容易とすることができる。また、実際の光記録動作においては、上述の位置関係において許容誤差を超える位置

ずれが容易に生じないように抑えられる。従って、光記録ヘッド 103 は、安定した光記録を行うことができる。

- [0137] 尚、励起光 110a のパワー密度が高いほど発振しやすいため、励起光 110a は 2 次元フォトニック結晶構造を形成した領域に集光する形で照射することが望ましい。図 13 においては、励起光 110a を集光するために集光レンズとしてレンズ 112 を光路途中に配置しているが、例えば図 15 の基板 1 に曲面や回折格子を形成し集光機能を備えるようにしてもよい。
- [0138] 光源 80 から発せられるレーザ光の光強度分布が、光源 70 と同様に効率よくカプラ 29 からコア層 21 に導入される傾斜が指数関数形状とする光源 80B に関して以下に説明する。
- [0139] 図 16 (a) は光源 80B の上面図、図 16 (b) は図 5 (a) の G-G' 線矢視断面図である。光源 80B は、基板 1 と、基板 1 の一方の主面上に形成された第 2 クラッド層 2 と、第 2 クラッド層 2 上に形成された活性層 3 と、活性層 3 上に形成された第 1 クラッド層 5 及びコンタクト層 6 とを有する半導体積層部と、コンタクト層 6 上に形成された遮光部材 9 とを備えている。
- [0140] 遮光部材 9 は、2 次元フォトニック結晶構造を成す凹部 10 の一部を覆うように設けられている。
- [0141] 遮光部材 9 は、2 次元フォトニック結晶構造で共振する光を透過しない材料でなり、図 16 (a) に示すように、凹部 10 が形成されている領域の短冊形状の短辺側の一方の端部を除く他の部分を覆うように形成されている。
- [0142] 遮光部材 9 が覆っている凹部 10 の領域は、好ましくは励起光 110a により照射され、レーザ発振する共振器領域 51 である。励起光 110a が共振器領域 51 を照射する位置は、図 16 においては、基板 1 の遮光部材 9 の反対側の表面であるが、これに限定されることはなく、側面側 (x 方向側) でも良いし、励起光 110a を透過可能であれば遮光部材 9 側からでもよい。すなわち、励起光 110a が照射する位置は、共振器領域 51 の周囲の何処でもよい。

- [0143] 共振器領域 5 1 は、基板 1 を透過して入射する励起光 1 1 0 a により発生させた電子・正孔対（キャリア）が活性層 3 に注入されて活性層 3 で光が生じ、活性層 3 で生じた光は、2 次元フォトニック結晶構造に漏れて導入され、レーザ発振する。
- [0144] 共振器領域 5 1 において、幅 W_p は、カプラ 2 9 の幅（ x 方向）方向を不足無く照射できるように、カプラ 2 9 の幅以上であることが好ましく、長さ L_p はレーザ発振及び発振波長が安定する長さ以上とするのが好ましい。
- [0145] 共振器領域 5 1 で発振した光は、2 次元フォトニック結晶構造内を $-y$ 方向（第 1 方向）に進むことができ、遮光部材 9 に覆われていない（2 次元フォトニック結晶構造が開放されている）領域に達した光は、コヒーレントなレーザ光として発光面 5 3 から外部に射出される。図 1 6（b）に、発光面 5 3 から外部に射出されるレーザ光を光 5 0 a で示す。遮光部材 9 に覆われていなくて外部にレーザ光が射出できるように開放されている凹部 1 0 の領域は、面発光領域 5 2 であり、上記の遮光部材 9 で覆われていない面が発光面 5 3 である。
- [0146] 面発光領域 5 2 を $-y$ 方向に進む光は、励起光 1 1 0 a が照射されず光励起が生じないため、活性層 3 で発生する光が少なく、外部への回折と共に $+y$ 方向への回折が生じるため単調減少する。このため、遮光部材 9 と発光面 5 3 との境界（共振器領域 5 1 と面発光領域 5 2 との境界）から発光面 5 3 の方向（ $-y$ 方向、面発光領域 5 2 の方向）に離れるに従い、外部に射出される光強度が指数関数的に減少する。
- [0147] よって、図 1 6（b）に示すように、発光面 5 3 から射出される光強度 I は、遮光部材 9 と発光面 5 3 との境界付近が最大で、 $-y$ 方向に向かうに従って減少する傾斜が指数関数形状となり、 x 方向に幅 W_p の厚みを有している。この光強度分布は、光源 7 0 と同じく、導波路 2 0 に効率よく導入されるカプラ 2 9 に照射される光の好適な強度分布である。
- [0148] 図 1 7（a）、（b）の光源 8 0 C、8 0 D に示すように、共振器領域 5 1 と面発光領域 5 2 の凹部 1 0 の深さを異なるようにしてもよい。これは、

図 6 (a)、(b) の光源 70B、70C と同様であるため説明を省略する。

[0149] 面発光領域 52 のフォトニック結晶構造を図 16 (a) で示した凹部の格子点配置に代えて、図 18 に示す光源 80E ように、ストライプ溝状の凹部 10c の並列配置にしてもよい。これは、図 7 の光源 70D と同様であるため説明を省略する。

[0150] 導波路 20 のカプラ 29 への入射角度に合わせるように、光源 80 の姿勢を変えることなく、発光面 53 に対し垂直な方向（法線）から傾けて射出角度を持たせてレーザ光を射出するようにして対応することができる。

[0151] 発光面 53 から射出するレーザ光の射出角度を持たせるため、2次元フォトニック結晶構造において、面発光領域 52 の周期を共振器領域 51 の周期と異なるようにする。この例を図 19 (a)、(b) の光源 80F に示す。図 19 (a) は光源 80F の上面図、図 19 (b) は図 19 (a) の G-G' 線矢視断面図である。これは、図 8 (a)、(b) の光源 70E と同様であるため説明を省略する。

[0152] 発光面 53 の法線から傾いてレーザ光を射出する光源 80F と導波路 20 との組み合わせた例を図 20 (a)、(b) に示す。これは、図 9 で光源 70E と導波路 20B、20C とを組み合わせて説明した内容と同様であるため説明を省略する。

[0153] 図 20 (a)、(b) で示したように、2方向に射出されたレーザ光のうち一方は、導波路 20 に導入されるようにカプラ 29 に入射しないため、損失となる。この損失を少なくなるようにレーザ光の射出角度を発光面 53 に対し垂直方向より傾ける際、光源 80 から射出される 2方向の内、一方の光強度が他方に比較して強くなるようにするのが好ましく、この具体例を、図 21 (a)、(b) の光源 80G に示す。図 21 (a) は光源 80G の上面図、図 21 (b) は図 21 (a) の G-G' 線矢視断面図である。これは、図 10 (a)、(b) の光源 70F と同様であるため説明を省略する。

[0154] 光源 80 における面発光領域 52 のフォトニック結晶構造は、光源 70 の

場合と同様に、レーザ光を照射する対象の導波路20に効率良くレーザ光が導入されるように、凹部10の深さ、ストライプ溝状の凹部、y方向の周期変更及び凹部の断面形状の楔形状化のそれぞれを単独に用いて良いし、複数を組み合わせてもよい。

[0155] これまで説明した導波路20及び光源80を図14に示すように配置、固定する際には、光源70の場合と同様であるので説明を省略する。

[0156] 励起光110aが基板1を透過できない場合に関して、以下で説明する。活性層3の発光波長が例えば980nmであり、励起光110aの波長が780nmの場合は、GaAs基板は不透明となり、上記のような基板1側からの光照射による光励起ができない。このような場合、図22に示す光源80Hのような構成にする。

[0157] 図22に示す光源80Hは、図16(a)、(b)を用いて説明した光源80Bと同様に説明することができるので詳しい説明は省略する。遮光部材9は、基板1の第2クラッド層2が形成されている側と反対側の面に、基板1のレーザ光50a-5が射出される方向からみて、2次元フォトニック結晶構造を成す凹部10が形成されている領域の短冊形状の短辺側の端部を除く他の部分を覆うように形成されている。

[0158] 遮光部材9が覆っている凹部10の領域は、好ましくは励起光110aにより照射される領域であり、レーザ発振する共振器領域51である。遮光部材9に覆われていなくて外部にレーザ光が射出できるように開放されている凹部10の領域は、面発光領域52であり、基板1では発光面53である。

[0159] 光源80Hは、第1クラッド層5側から波長780nmの励起光110aが照射されることにより光励起され、発振した波長980nmのレーザ光は、波長980nmで透過可能なGaAs基板1越しに導波路20Aに照射され、導入される。

[0160] 光源80Hにおいて、面発光領域52のフォトニック結晶構造は、レーザ光を射出する対象の導波路に効率良くレーザ光が導入されるように、これまで説明した凹部の深さの変更、ストライプ溝状の凹部、y方向の周期変更及

び凹部の断面形状の楔形化それぞれを単独に導入しても良いし、複数を組み合わせて導入してもよい。

[0161] これまでの説明において、半導体積層部の材料としてIII-V族半導体を使った半導体レーザを例としているが、これらに替えて有機発光材料及び固体色素材料を使うことも可能である。例えば、石英基板表面に2次元フォトリック結晶構造を形成し、その上に有機発光材料をスパインコート・蒸着などで成膜することにより2次元フォトリック結晶構造を備えたレーザ（有機色素レーザ）とすることができる。また、石英基板表面に2次元フォトリック結晶構造を形成し、その上にスパッタで成膜することにより上下クラッド層を形成し、上下クラッド層の間に固体色素を形成することにより2次元フォトリック結晶構造を備えたレーザ（有機色素レーザ）とすることができる。

[0162] 以上説明してきた実施の形態は、光アシスト磁気記録ヘッド、及び、光アシスト磁気記録装置に関するものであるが、該実施の形態の要部構成を、記録媒体を光記録ディスクとした光記録ヘッド、光記録装置に利用することも可能である。この場合は、スライダ30に設けた磁気記録部35、磁気情報再生部36は不要である。

符号の説明

- [0163]
- 1 基板
 - 2 第2クラッド層
 - 3 活性層
 - 5 第1クラッド層
 - 6 コンタクト層
 - 7、71 第1電極
 - 8、81 第2電極
 - 9 遮光部材
 - 10、10a、10b、10c、10d、10e 凹部
 - 20、20A、20B、20C 導波路
 - 21 コア層

22 下クラッド層

23 上クラッド層

24 下端面

24 d プラズモンアンテナ

26、27 側面

29 カプラ

30 スライダ

50 a、50 a-1、50 a-2、50 a-3、50 a-4、50 a-5
光

51 共振器領域

52 面発光領域

53 発光面

70、70 A~70 G、80、80 A~80 H 光源

100 光記録装置

101 筐体

102 ディスク

103 光記録ヘッド

104 サスペンション

105 アーム

110 光励起源

110 a 励起光

Wp 幅

Lp、Lp1 長さ

請求の範囲

- [請求項1] 光源と、
 回折格子を介して結合された前記光源からの光を記録媒体に照射する導波路と、を少なくとも有し、
 前記光源は、
 前記導波路と対向する側の面に2次元フォトニック結晶構造を有し、
 、
 前記2次元フォトニック結晶構造は、前記回折格子と対向する領域を除く領域が被覆されて、前記回折格子と対向する領域を面発光領域とする面発光レーザであることを特徴とする光記録ヘッド。
- [請求項2] 前記面発光レーザは、前記2次元フォトニック結晶構造を被覆する部材が第1の電極であり、該第1の電極に対向する第2の電極とで共振器領域を形成する面発光半導体レーザであることを特徴とする請求項1に記載の光記録ヘッド。
- [請求項3] 前記面発光レーザは、前記2次元フォトニック結晶構造を被覆する部材が遮光部材であり、前記面発光レーザの遮光部材がある側の反対側に照射される励起光にて発光することを特徴とする請求項1に記載の光記録ヘッド。
- [請求項4] 前記光源は、前記導波路に固定されていることを特徴とする請求項1から3の何れか一項に記載の光記録ヘッド。
- [請求項5] 前記面発光レーザを発光させる励起光を発する光励起源を有し、
 前記励起光は、前記面発光領域を照射しないことを特徴とする請求項3に記載の光記録ヘッド。
- [請求項6] 前記記録媒体は、磁気記録媒体であり、
 少なくとも前記光源、前記導波路及び磁気記録部を備え、前記磁気記録媒体に対して相対移動するスライダを有することを特徴とする請求項1から5の何れか一項に記載の光記録ヘッド。
- [請求項7] グレーティングカップラを有する導波路に対向して配置され、該導波

路に導入する光を前記グレーティングカプラに対して射出する面発光半導体レーザであって、

第1クラッド層と、第2クラッド層と、前記第1クラッド層と前記第2クラッド層とにより挟まれキャリア注入により所定の波長の光を発生する活性層と、を有する半導体積層部と、

前記第1クラッド層に接続される第1電極と、

前記第2クラッド層に接続される第2電極と、を備え、

前記第1クラッド層は、屈折率が面内方向に前記所定の波長に対応する周期で変化し、前記活性層と光学的に結合して該活性層で発生した光が導入され、導入された前記所定の波長の光が回折されてレーザ発振し、少なくとも一部の光の進行方向を前記面内方向に対し垂直方向に転換するように構成されている回折格子を有し、

前記回折格子は、前記グレーティングカプラと対向する領域を除く領域が被覆されて、前記グレーティングカプラと対向し、前記垂直方向に転換された光を射出する領域を面発光領域とし、

前記回折格子を被覆する部材が前記第1電極であり、該第1電極に対向する前記第2電極とでレーザ発振する共振器領域が形成されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

[請求項8] 前記面発光領域は、前記回折格子の端部に設けられ、

前記面発光領域から射出される光の光強度分布は、前記共振器領域から前記面発光領域へ向かう第1方向において、前記共振器領域と前記面発光領域との境界の近傍で最大であり、前記境界から前記面発光領域の方向へ離れるに従って減少することを特徴とする請求項7に記載の面発光半導体レーザ。

[請求項9] 前記面発光領域から光が射出される側から見た前記回折格子が設けられている領域は、前記第1方向を長辺とする短冊形状であることを特徴とする請求項8に記載の面発光半導体レーザ。

[請求項10] 前記回折格子は、前記第1クラッド層に前記周期を持って配置され

た凹部に、前記第 1 クラッド層の物質の屈折率と異なる屈折率の物質が充填されていることを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載の面発光半導体レーザ。

[請求項11] 前記凹部は穴状の凹部であって、前記共振器領域及び前記面発光領域の前記穴状の凹部は、前記第 1 方向及び該第 1 方向に垂直な方向に沿って正方格子に配置されていることを特徴とする請求項 10 に記載の面発光半導体レーザ。

[請求項12] 前記共振器領域の前記凹部は、前記第 1 方向及び該第 1 方向に垂直な方向に沿って正方格子に配置された穴状の凹部であり、

前記面発光領域の前記凹部は、前記第 1 方向に垂直な方向に沿ったストライプ溝状の凹部であって、前記第 1 方向の周期が前記正方格子の周期と同じ周期で配置されていることを特徴とする請求項 10 に記載の面発光半導体レーザ。

[請求項13] 前記凹部は穴状の凹部であって、前記共振器領域の前記穴状の凹部は、前記第 1 方向及び該第 1 方向に垂直な方向に沿って正方格子に配置され、

前記面発光領域の前記穴状の凹部は、前記第 1 方向に垂直な方向の周期が前記共振器領域の前記正方格子の周期と同じで、前記第 1 方向の周期が前記正方格子の周期と異なる周期で配置されていることを特徴とする請求項 10 に記載の面発光半導体レーザ。

[請求項14] 前記共振器領域の前記凹部は、前記第 1 方向及び該第 1 方向に垂直な方向に沿って正方格子に配置された穴状の凹部であり、

前記面発光領域の前記凹部は、前記第 1 方向に垂直な方向に沿ったストライプ溝状の凹部であって、前記第 1 方向の周期が前記正方格子の周期と異なる周期で配置されていることを特徴とする請求項 10 に面発光半導体レーザ。

[請求項15] 前記第 1 方向で、且つ、前記第 1 クラッド層の前記活性層に対する面と反対側の主平面に垂直方向の前記凹部の断面において、

前記面発光領域の前記凹部は、前記主平面からの深さが深くなるに従って、前記第 1 方向の前記凹部の幅が小さくなる又は大きくなり、且つ、前記主平面に対して垂直な軸に対して非対称であることを特徴とする請求項 13 又は 14 に記載の面発光半導体レーザ。

[請求項16] 前記第 1 クラッド層の前記活性層に対する面と反対側の主平面からの前記凹部の深さ方向の断面が同じであって、前記共振器領域での前記凹部の断面積と前記面発光領域での前記凹部の断面積とは異なることを特徴とする請求項 11 又は 13 に記載の面発光半導体レーザ。

[請求項17] 前記第 1 クラッド層の前記活性層に対する面と反対側の主平面からの前記凹部の深さは、前記共振器領域と前記面発光領域とで異なることを特徴とする請求項 10 から 16 の何れか一項に記載の面発光半導体レーザ。

[請求項18] 前記面発光領域における前記凹部の深さは、前記境界の近傍より前記境界より離れる方向の前記面発光領域の端部の方が浅いことを特徴とする請求項 17 に記載の面発光半導体レーザ。

[請求項19] 前記第 1 方向に垂直な方向の前記回折格子がある領域の幅は、光が照射される前記グレーティングカプラの幅以上であることを特徴とする請求項 8 から 18 の何れか一項に記載の面発光半導体レーザ。

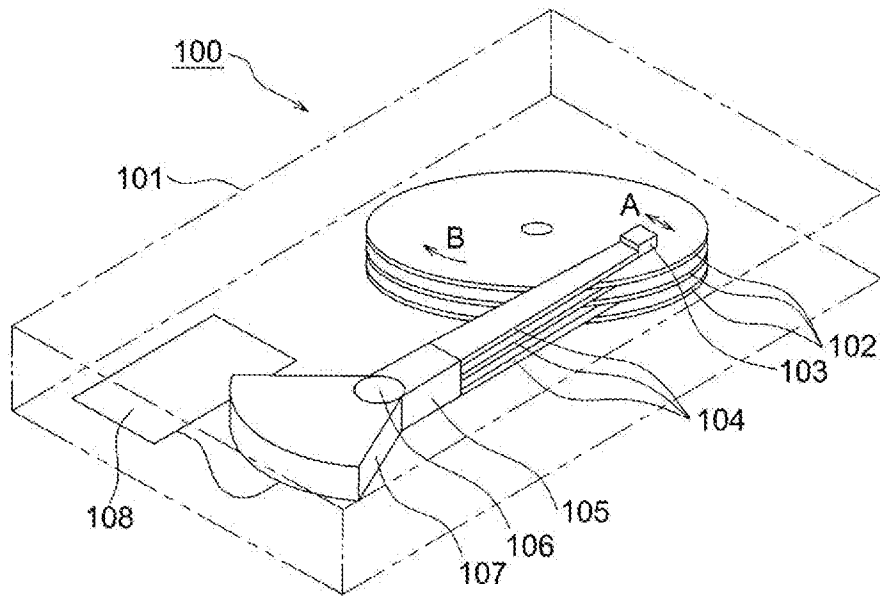
[請求項20] 記録媒体に光を用いて情報記録を行う光記録ヘッドにおいて、請求項 7 から 19 の何れか一項に記載の面発光半導体レーザと、前記記録媒体に対して相対移動するスライダと、
前記記録媒体の記録面に略垂直な前記スライダの側面に、前記面発光半導体レーザにより照射される光が導入され、導入された光を前記記録媒体に向けて伝搬する前記導波路と、を備えていることを特徴とする光記録ヘッド。

[請求項21] 前記面発光半導体レーザは、前記導波路に固定されていることを特徴とする請求項 20 に記載の光記録ヘッド。

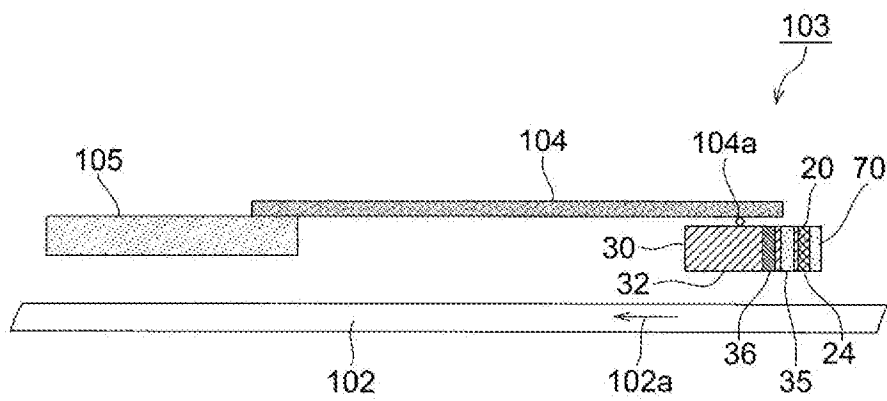
[請求項22] 請求項 20 又は 21 に記載の光記録ヘッドと、

前記記録媒体と、を備えていることを特徴とする光記録装置。

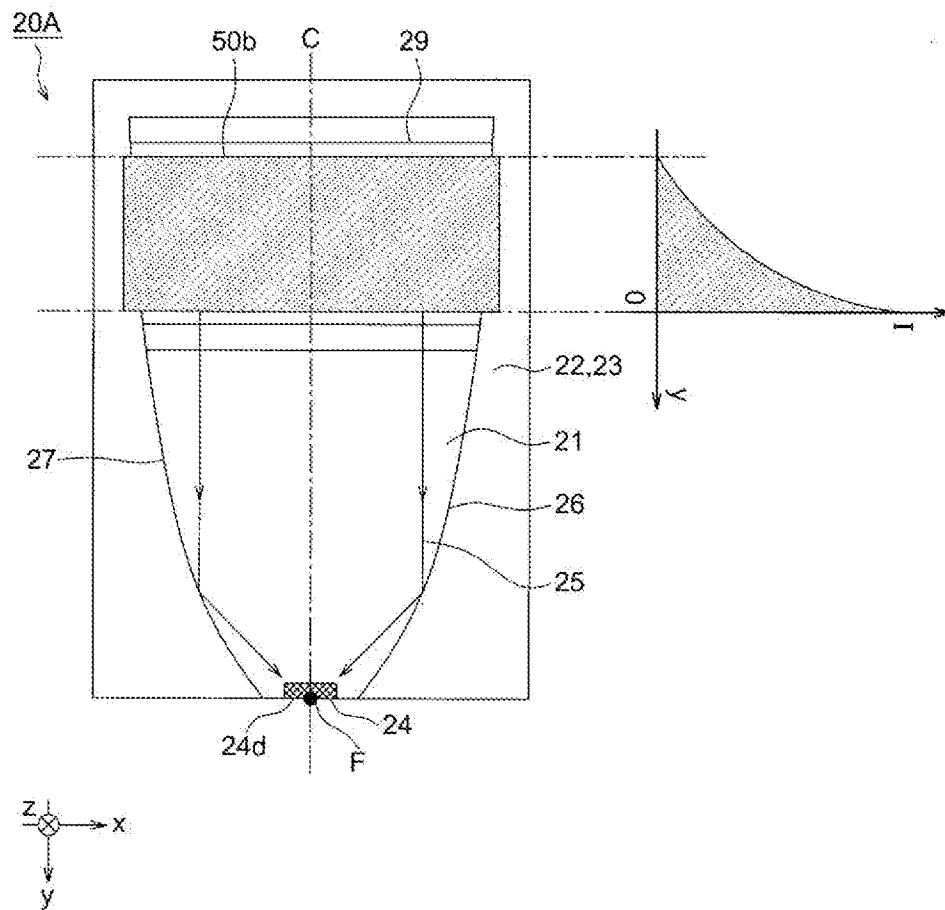
[図1]



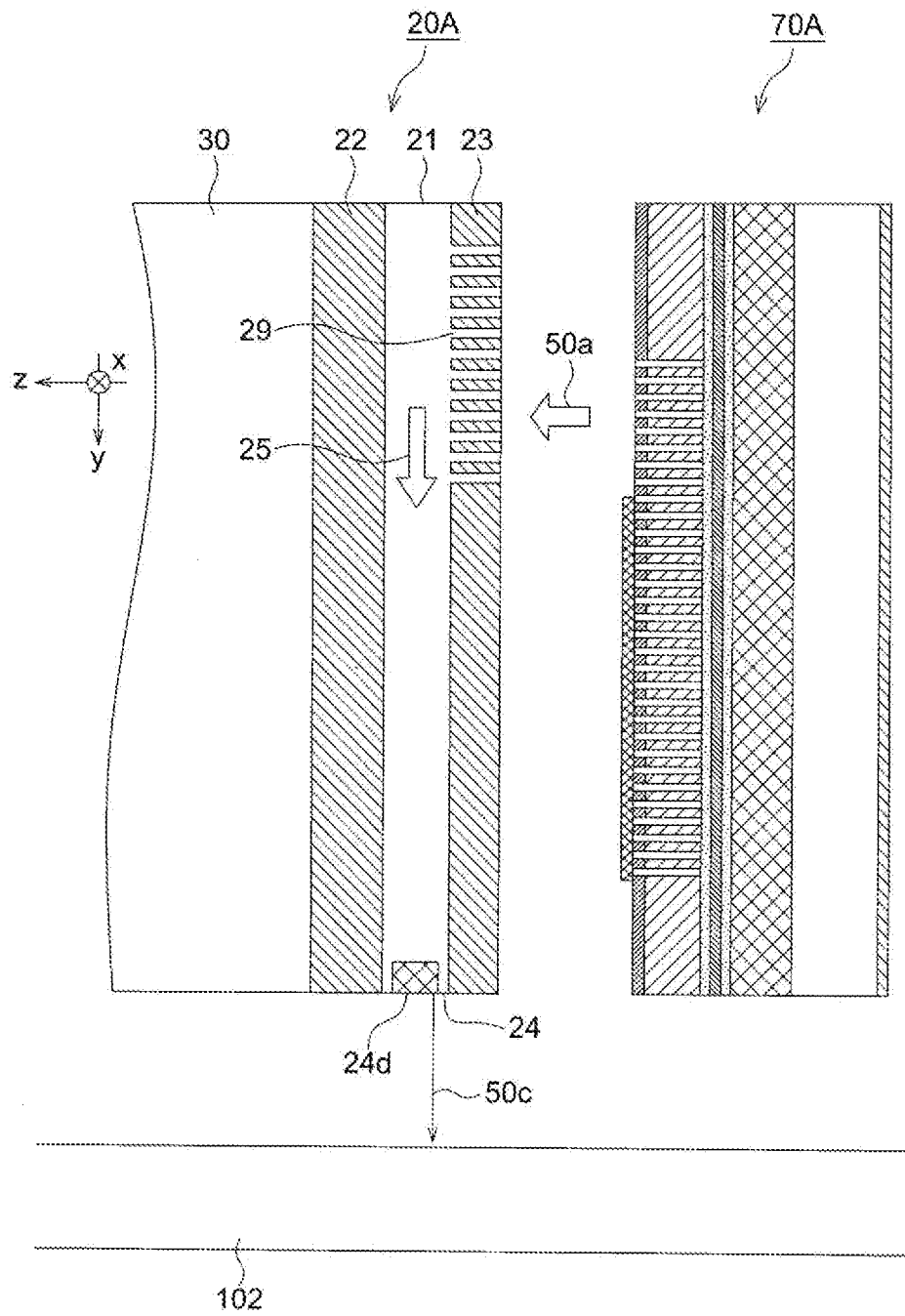
[図2]



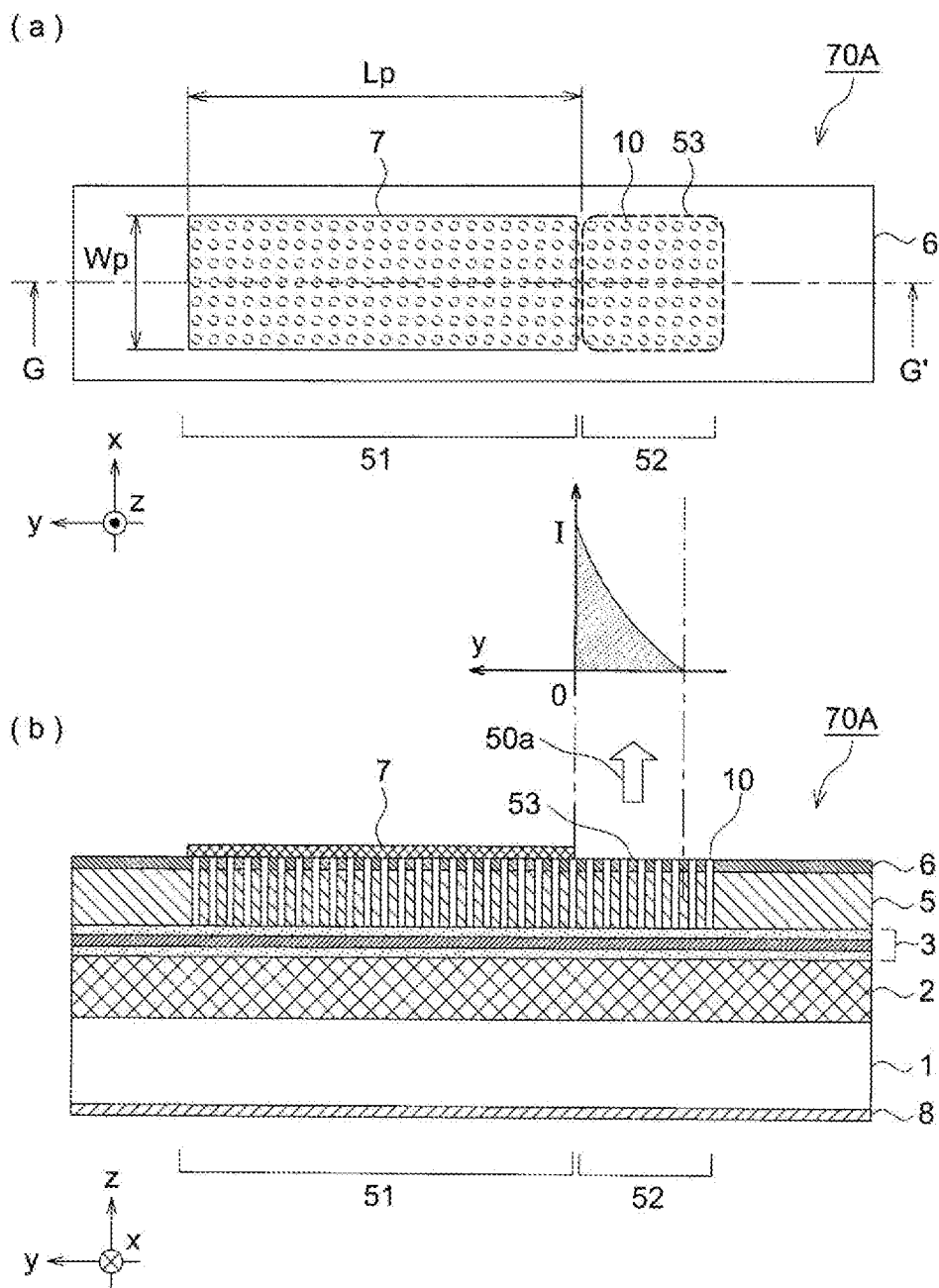
[図3]



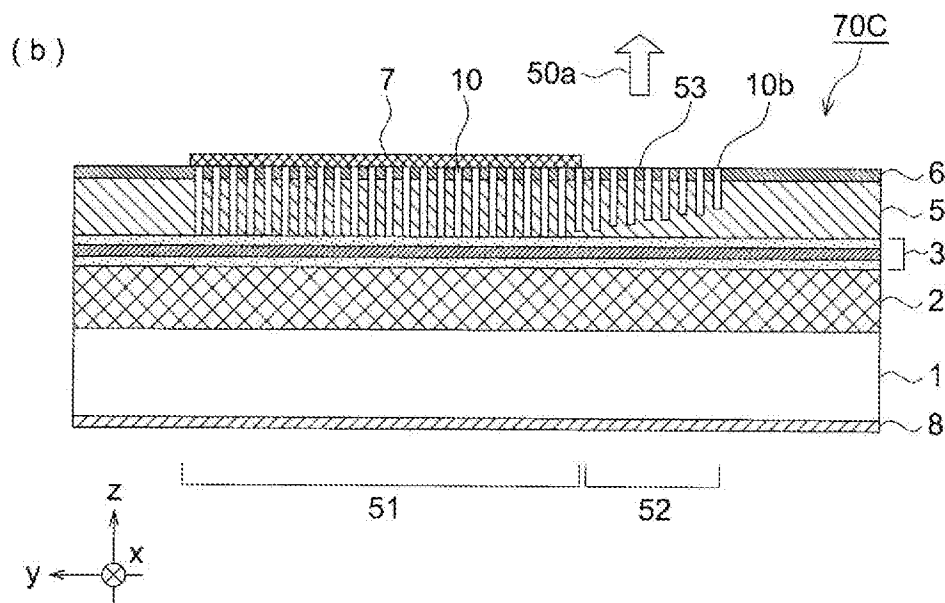
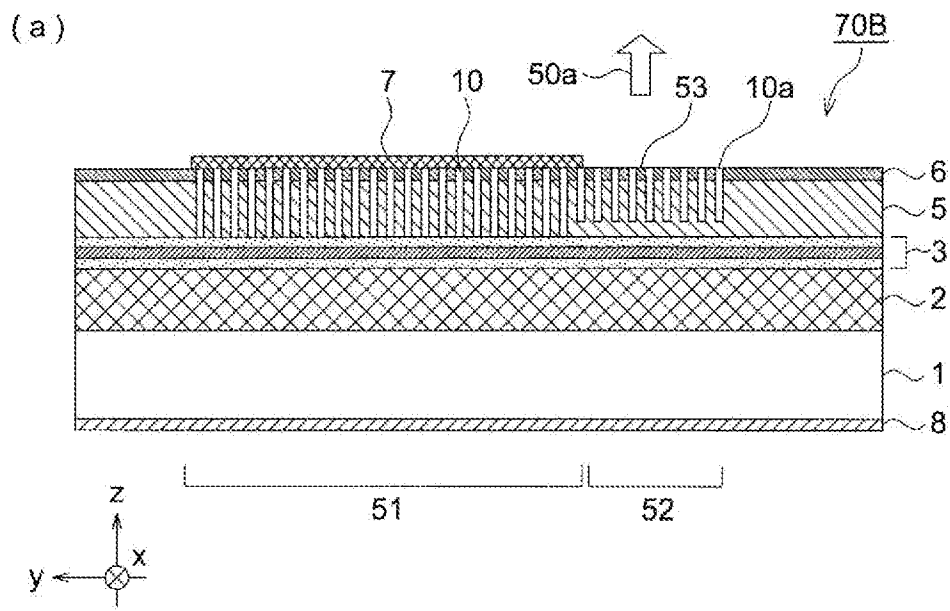
[図4]



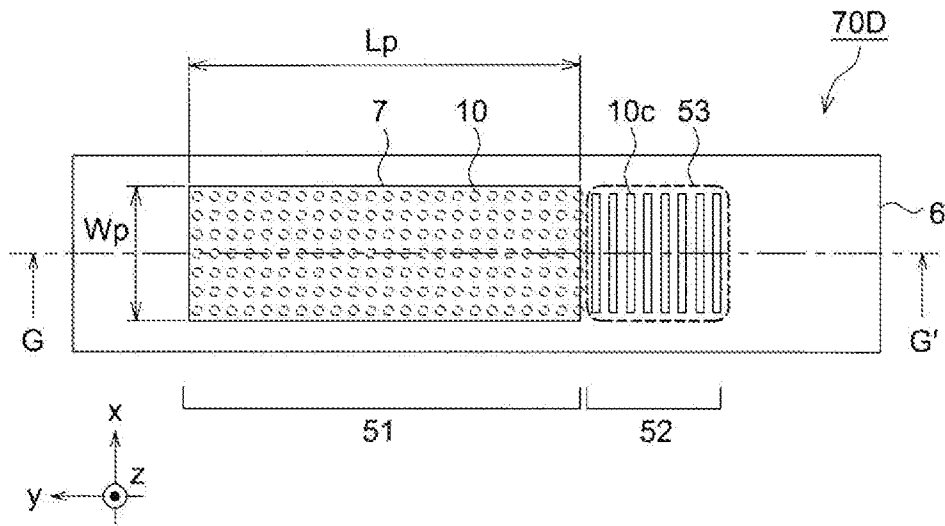
[図5]



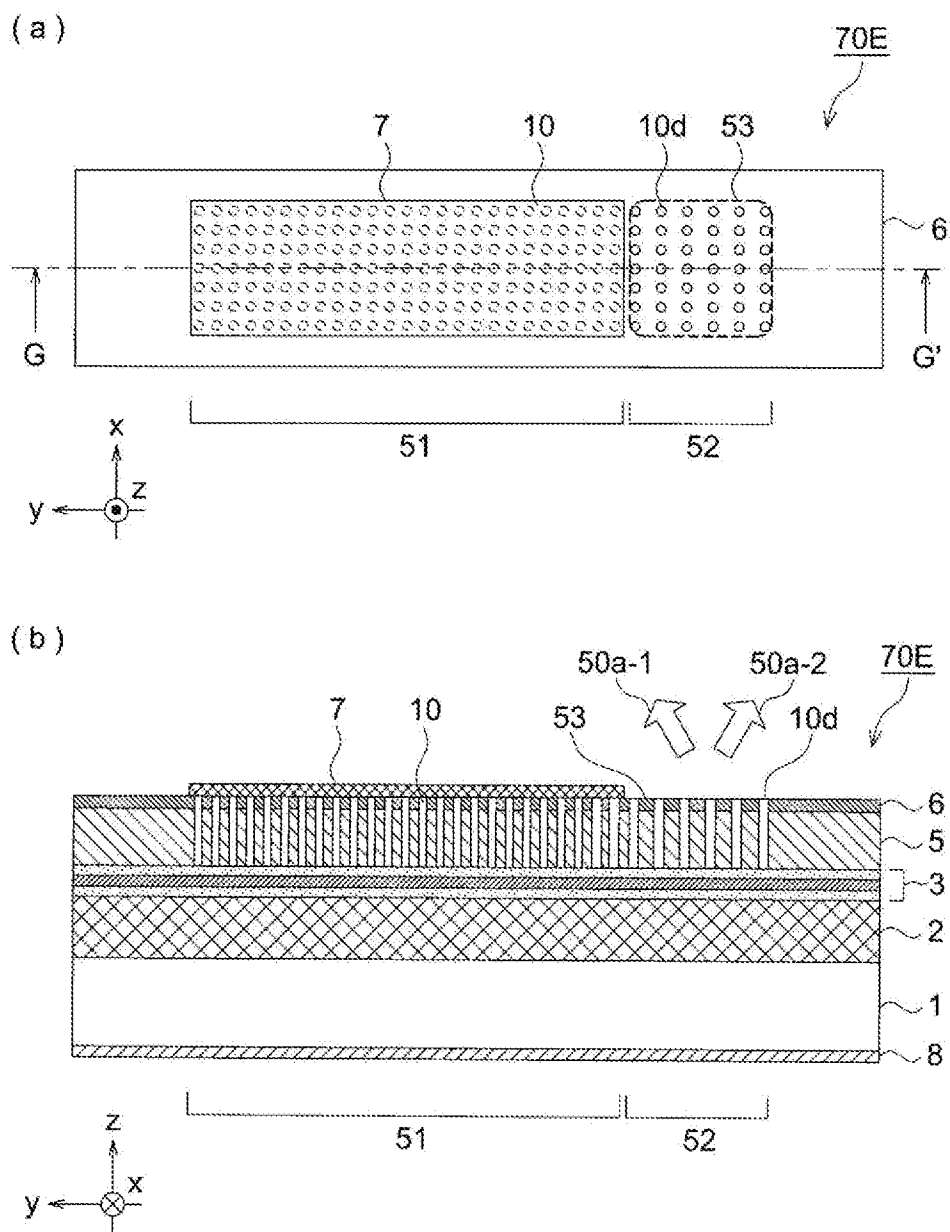
[図6]



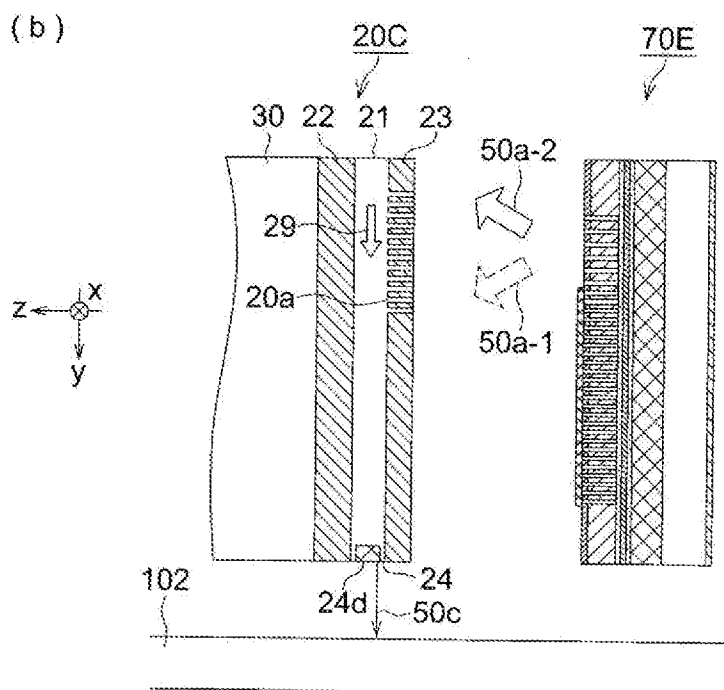
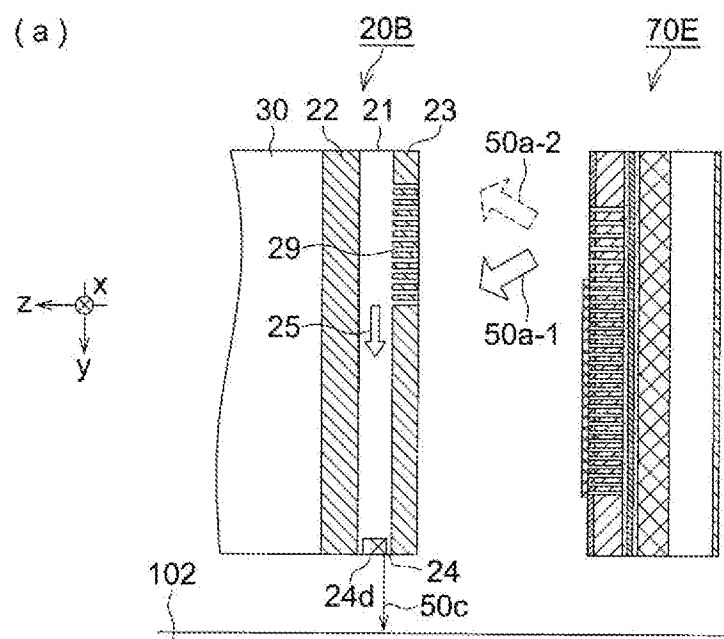
[図7]



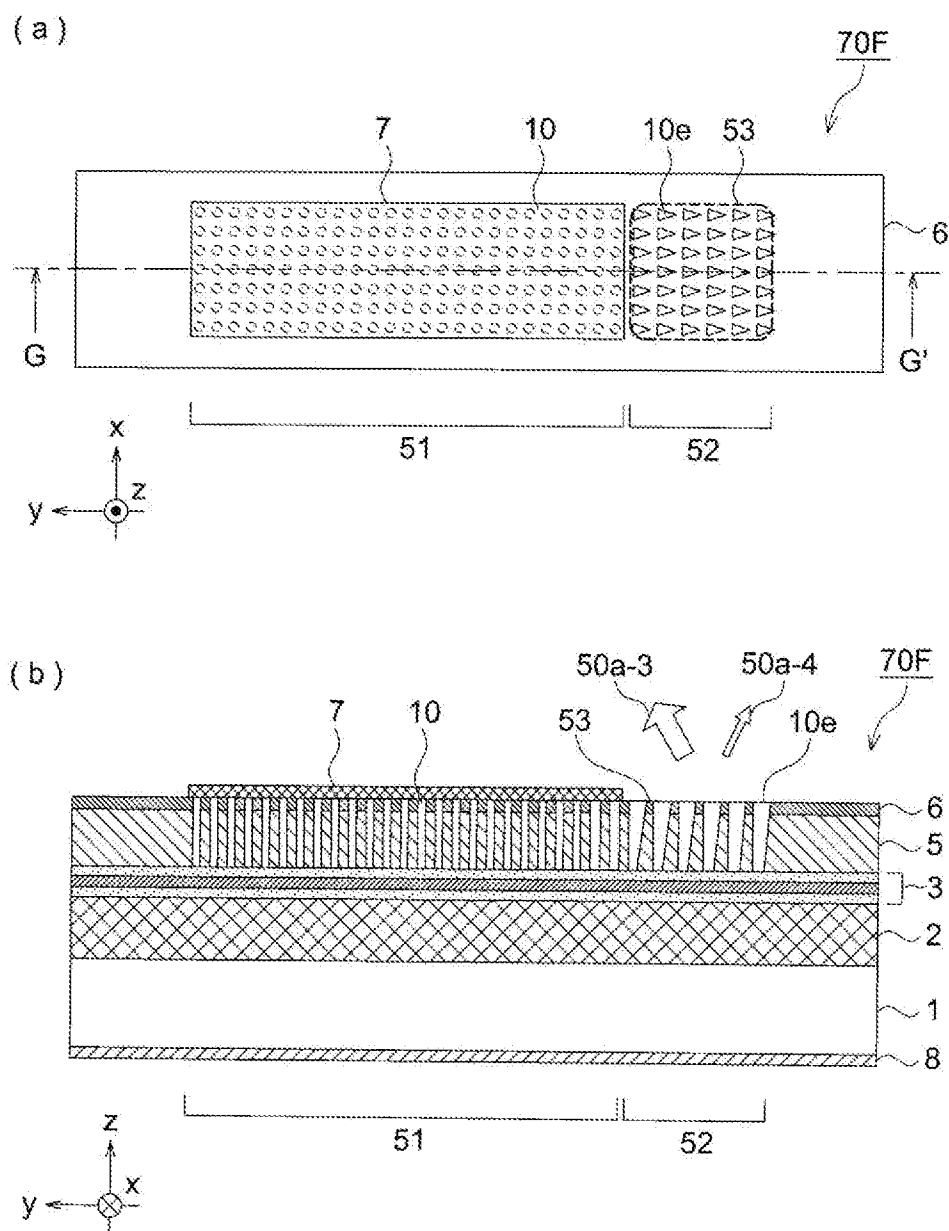
[図8]



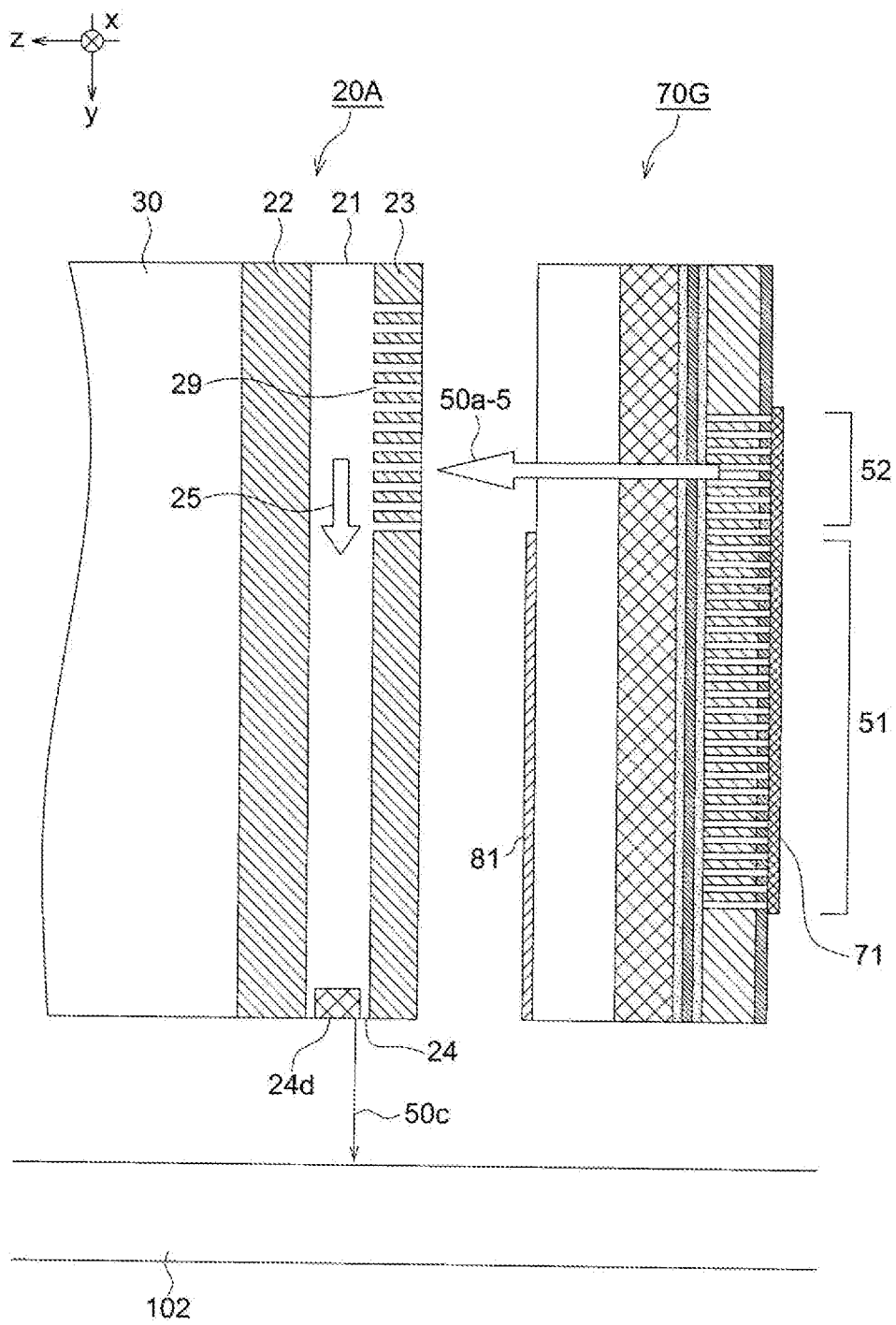
[図9]



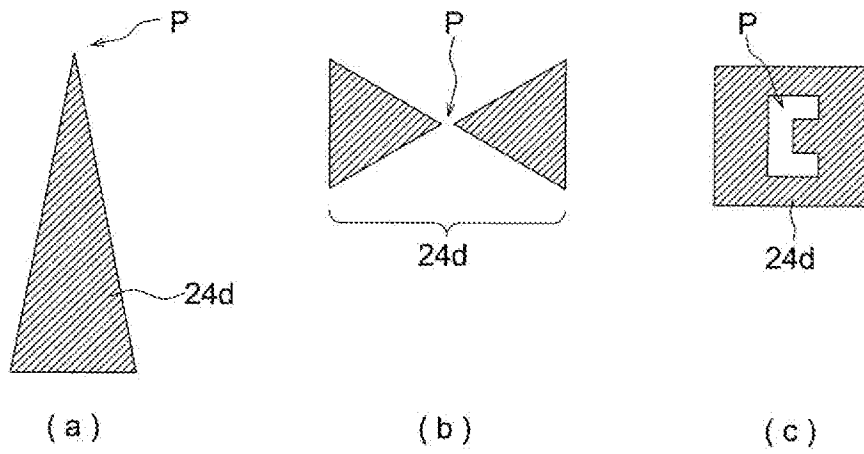
[図10]



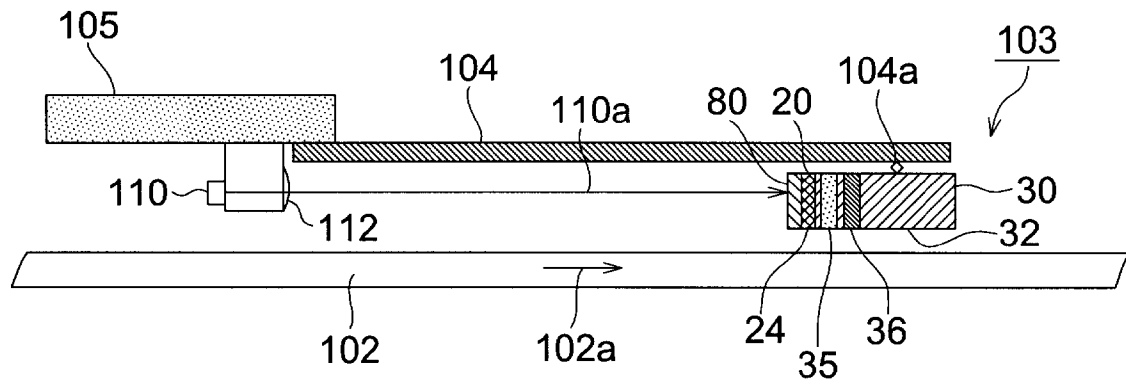
[図11]



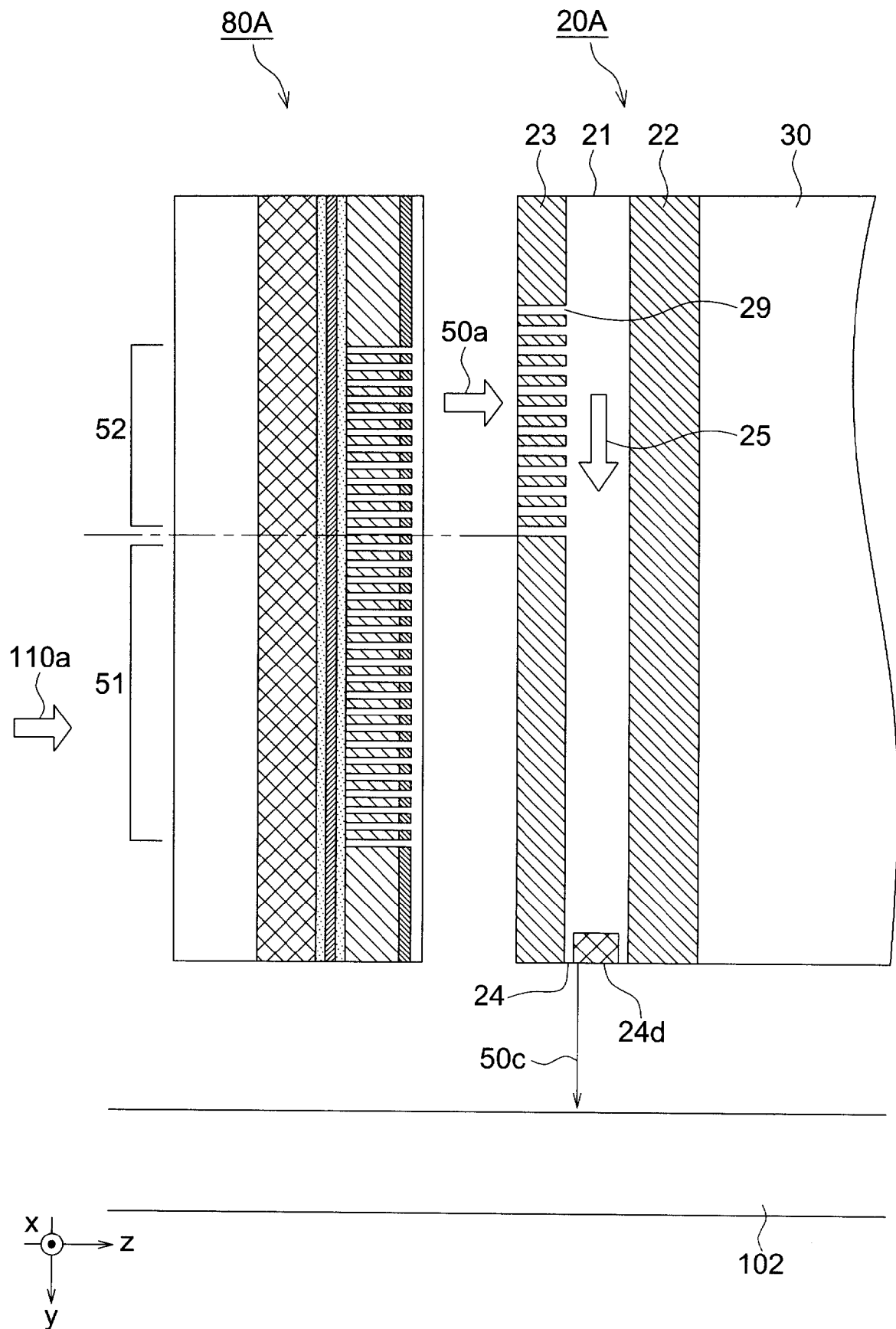
[図12]



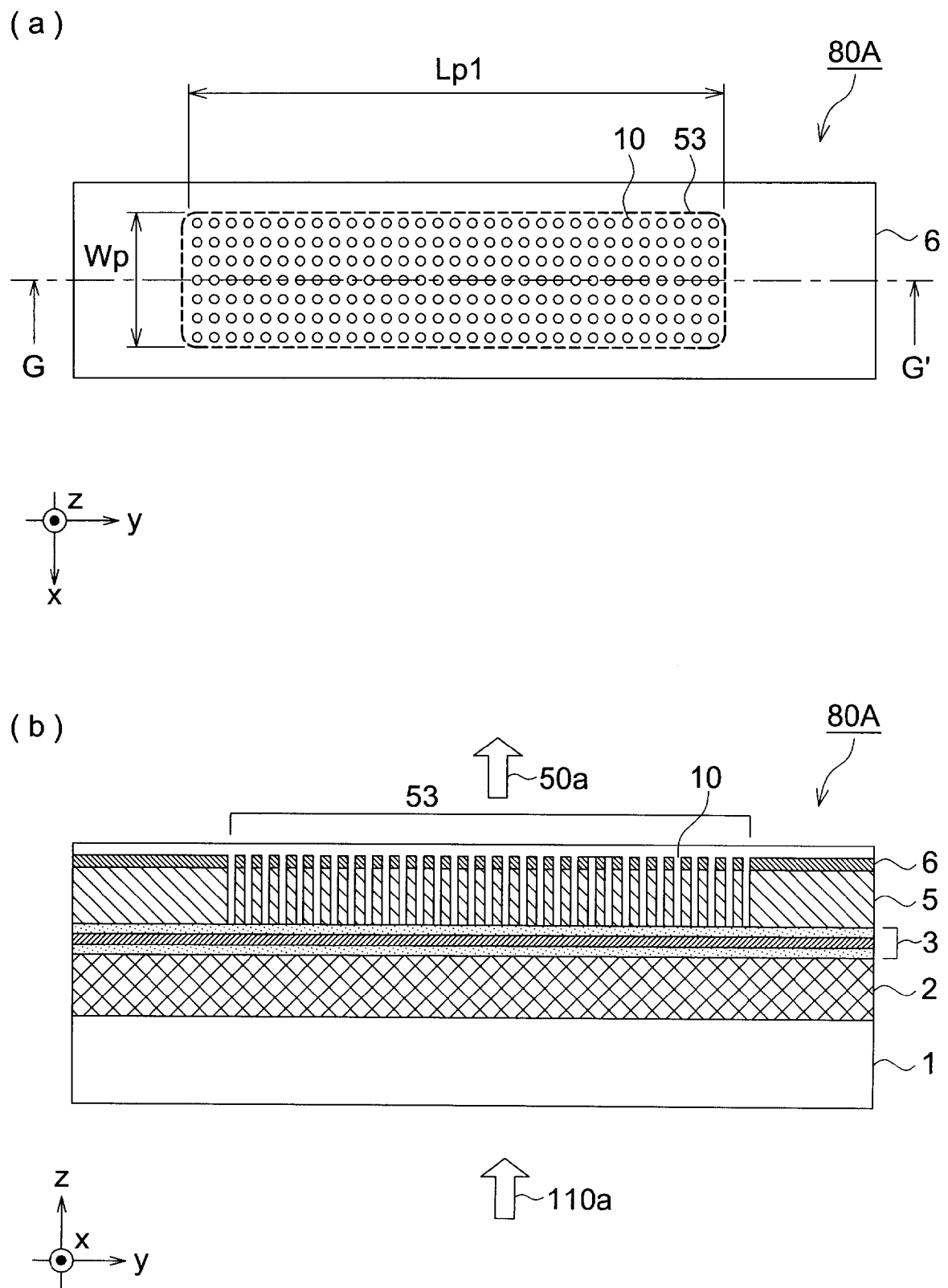
[図13]



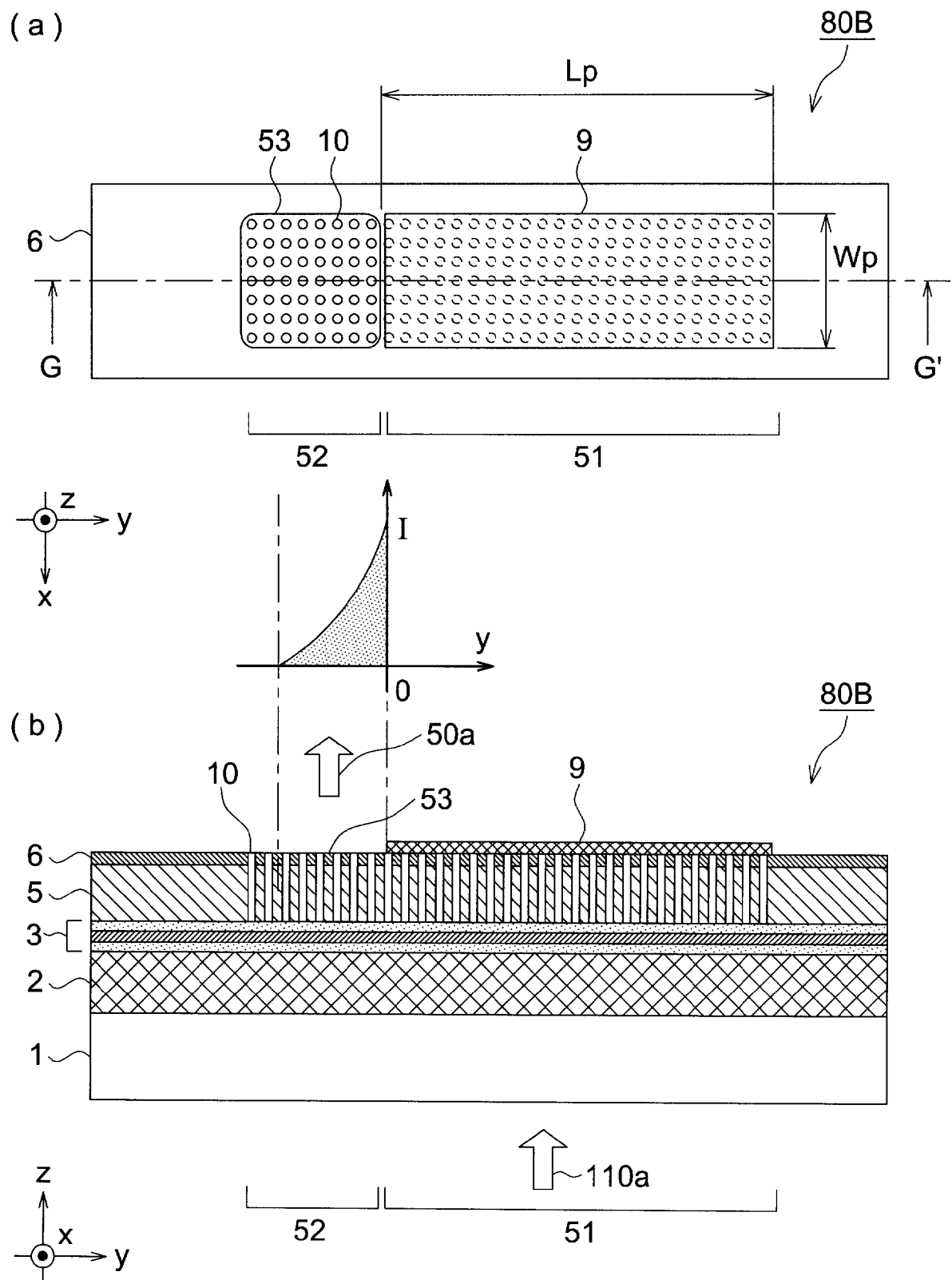
[図14]



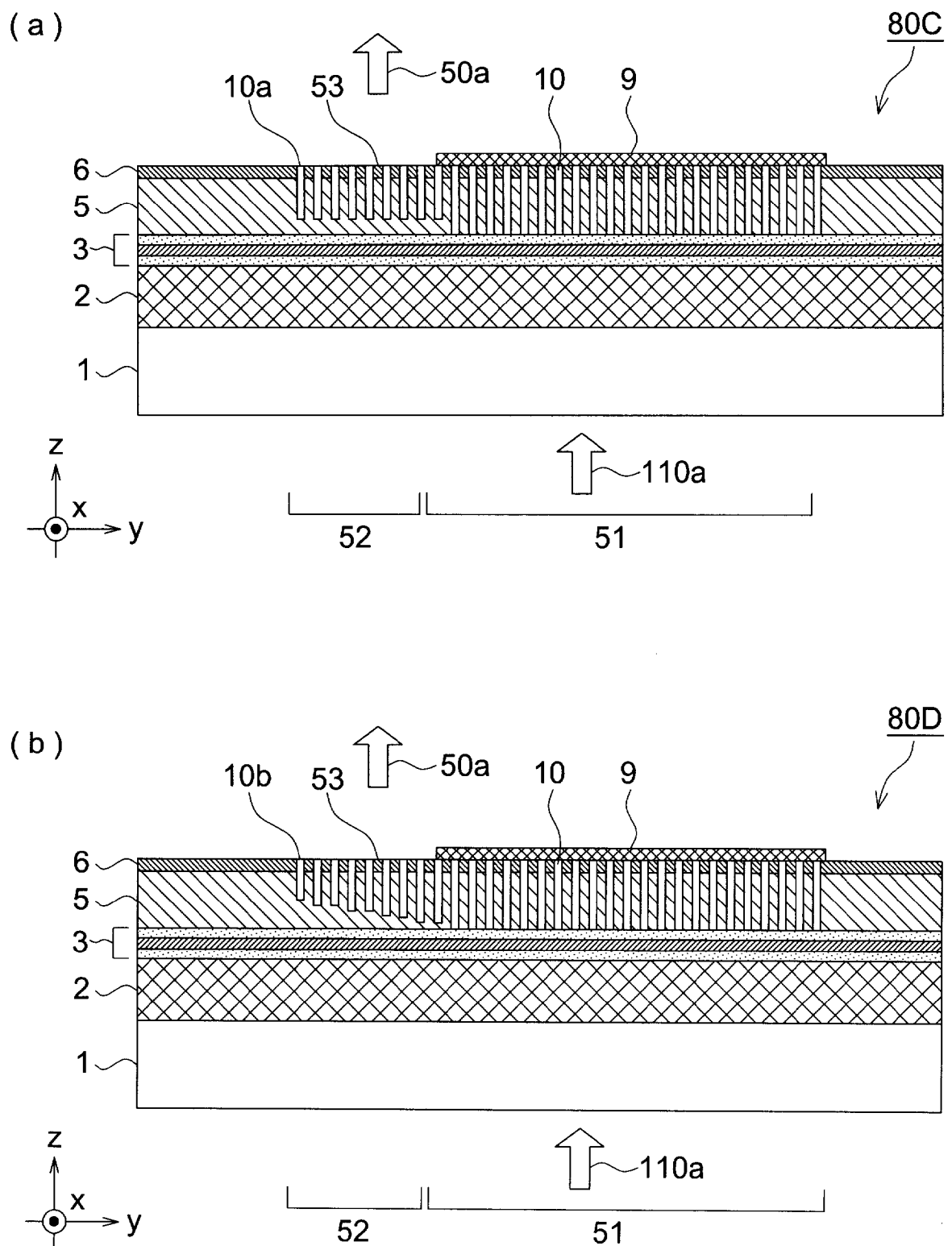
[図15]



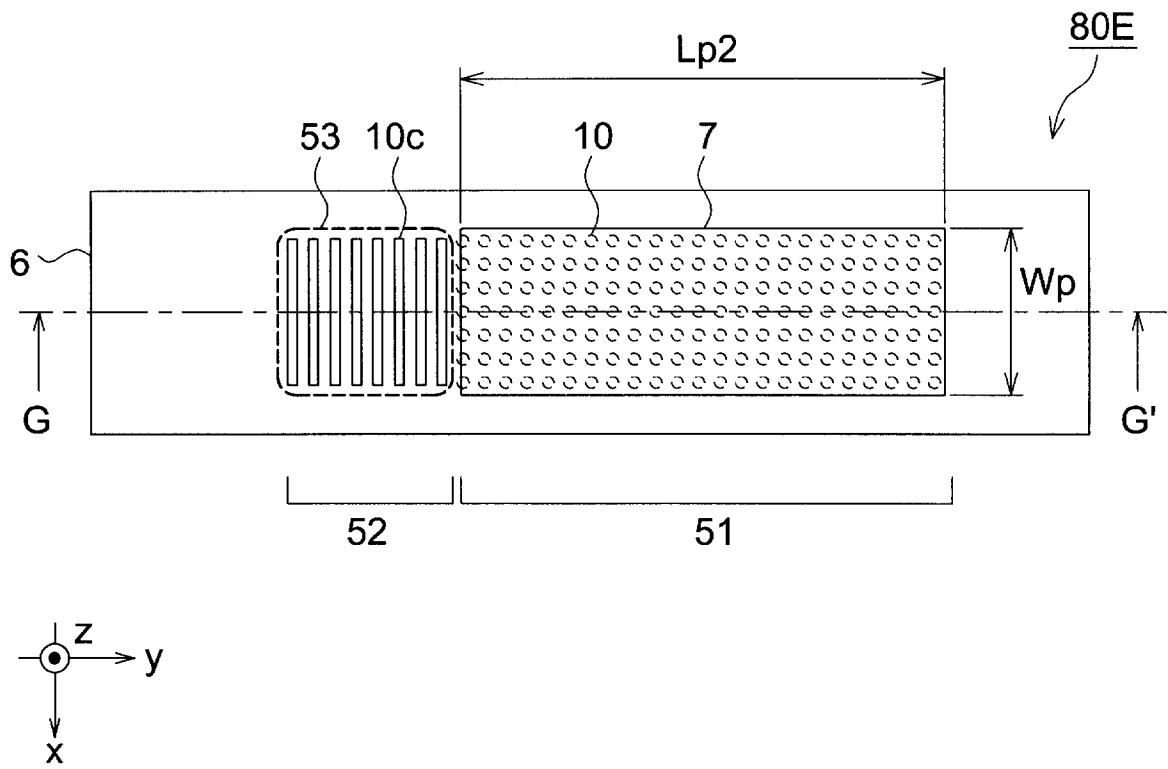
[図16]



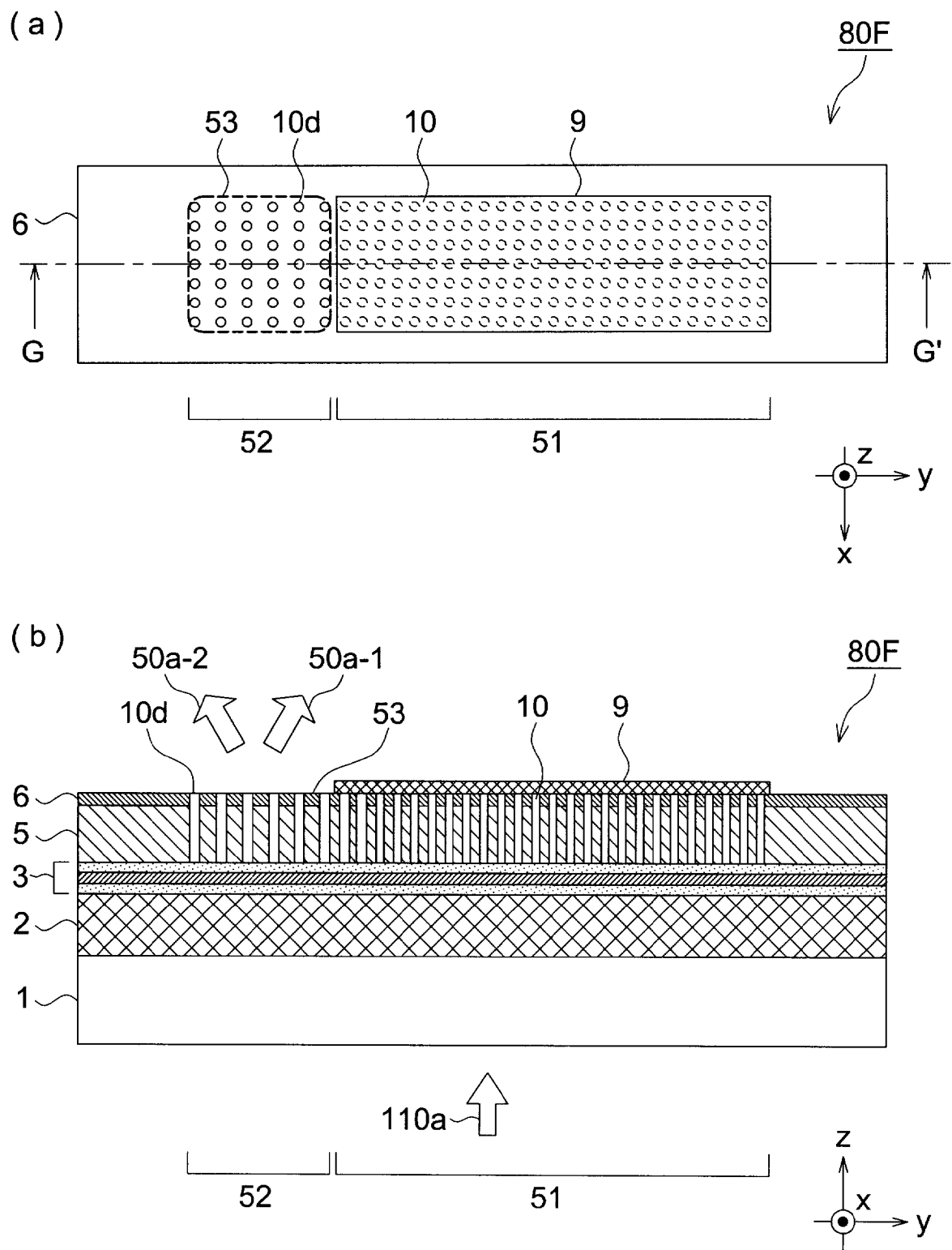
[図17]



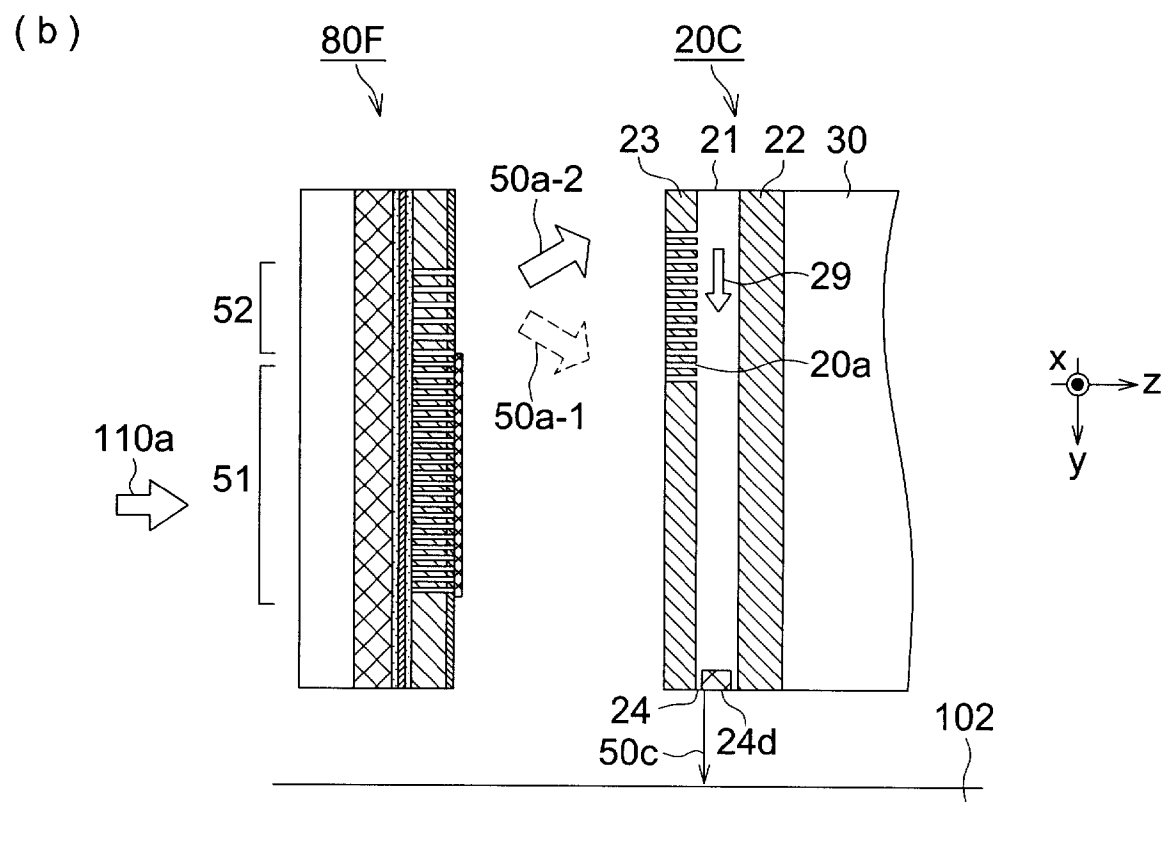
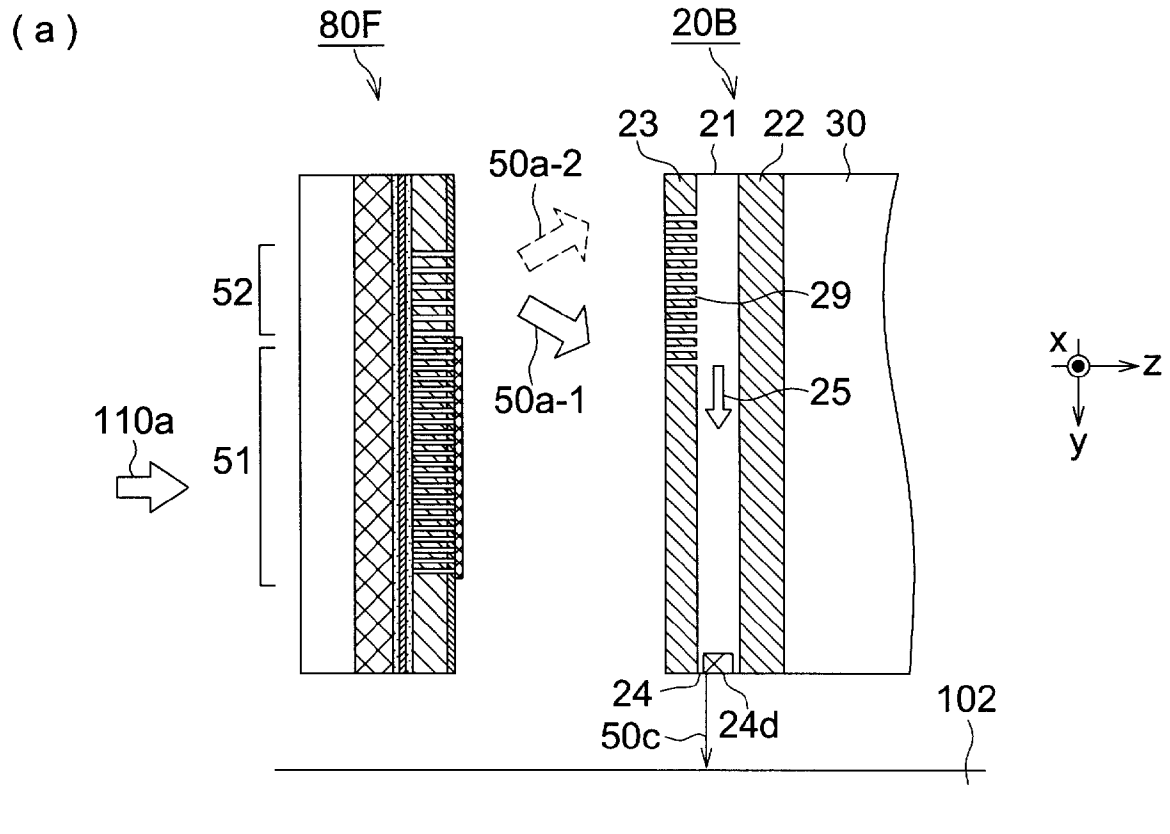
[図18]



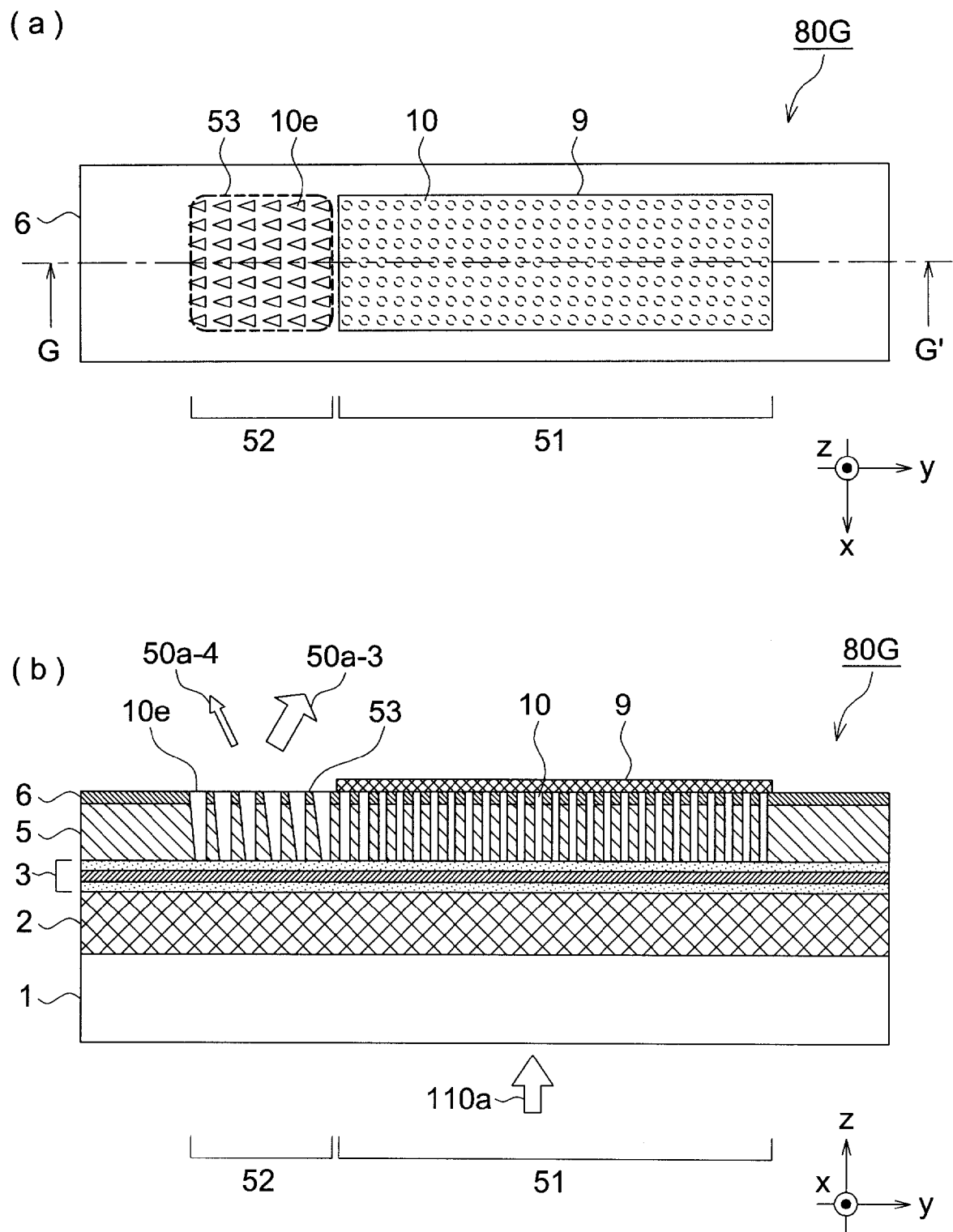
[図19]



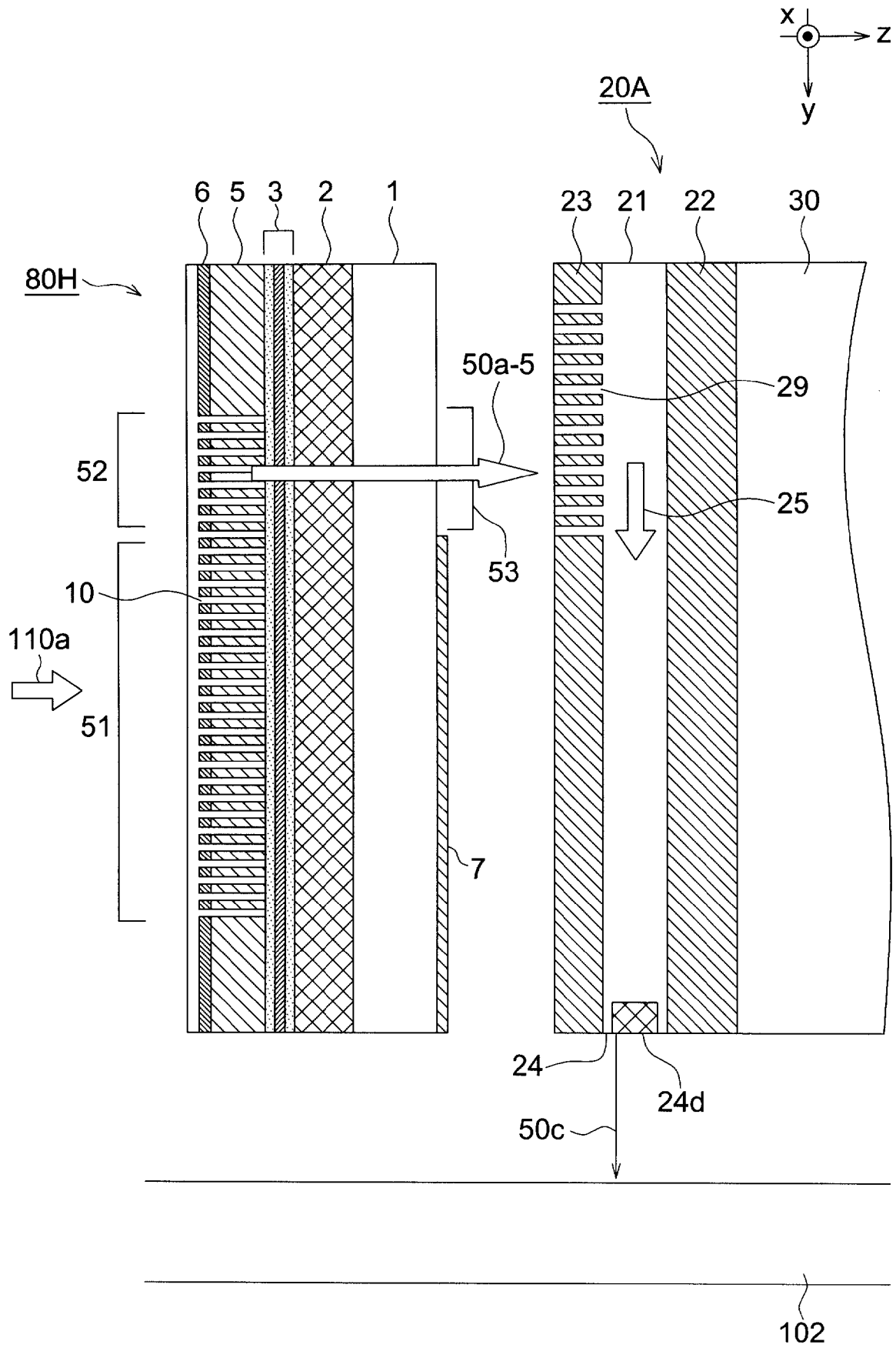
[図20]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/053635

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/18(2006.01)i, G11B5/02(2006.01)i, G11B5/31(2006.01)i, G11B5/60
(2006.01)i, H01S5/026(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, G11B5/02, G11B5/31, G11B5/60, H01S5/026

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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.
Y	JP 2009-43367 A (TDK Corp.), 26 February 2009 (26.02.2009), paragraphs [0010] to [0028]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-6
Y	Keisuke Kojima, Susumu Noda, Kazumasa Mitsunaga, Kazuo Kyuma, and Koichi Hamanaka, Continuous wave operation of a surface-emitting AlGaAs/GaAs multiquantum well distributed Bragg reflector laser, Applied Physics Letters, 1987.06, Vol.50, No.24, p.1705-p.1707	1-6
Y	JP 2008-98379 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 24 April 2008 (24.04.2008), paragraphs [0001] to [0076]; fig. 1 to 11 (Family: none)	1-6

☒ 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
25 May, 2010 (25.05.10)

Date of mailing of the international search report
08 June, 2010 (08.06.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/053635

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-332351 A (Susumu NODA, Japan Science and Technology Corp., Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 30 November 2000 (30.11.2000), paragraphs [0023] to [0089]; fig. 1 to 18 (Family: none)	1-6
Y	JP 2009-43918 A (Canon Inc.), 26 February 2009 (26.02.2009), paragraphs [0008] to [0026]; fig. 1 to 8 & US 2009/0074026 A1 & EP 2023454 A2 & CN 101369715 A	3-6
Y	WO 2009/057429 A1 (Konica Minolta Opto, Inc.), 07 May 2009 (07.05.2009), paragraphs [0022] to [0065]; fig. 1 to 19 (Family: none)	6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/053635

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The invention of claims 1-6 is related to an optical recording head which comprises a surface emitting laser that has a two-dimensional photonic crystal structure.

The invention of claims 7-22 is related to a surface emitting semiconductor laser which has a diffraction grating, an optical recording head which comprises the surface emitting laser, and an optical recording apparatus.

These two groups of inventions are not considered as a group of inventions which are so linked as to form a single general inventive concept.

Consequently, the inventions of claims 1-22 do not satisfy the requirement of unity of invention.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1-6

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S5/18(2006.01)i, G11B5/02(2006.01)i, G11B5/31(2006.01)i, G11B5/60(2006.01)i, H01S5/026(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（I P C））

Int.Cl. H01S5/00-5/50, G11B5/02, G11B5/31, G11B5/60, H01S5/026

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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
Y	JP 2009-43367 A (T D K株式会社) 2009.02.26, 段落【0010】-【0028】, 図1-4 (ファミリーなし)	1-6
Y	Keisuke Kojima, Susumu Noda, Kazumasa Mitsunaga, Kazuo Kyuma, and Koichi Hamanaka, Continuous wave operation of a surface-emitting AlGaAs/GaAs multiquantum well distributed Bragg reflector laser, Applied Physics Letters, 1987.06, Vol.50, No.24, p.1705-p.1707	1-6

☒ 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

2 5 . 0 5 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

0 8 . 0 6 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

百瀬 正之

2 K

4 0 8 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

C (続き) . 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
Y	JP 2008-98379 A (古河電気工業株式会社) 2008. 04. 24, 段落【0001】－【0076】, 図1－11 (ファミリーなし)	1-6
Y	JP 2000-332351 A (野田進, 科学技術振興事業団, 住友電気工業株 式会社) 2000. 11. 30, 段落【0023】－【0089】, 図1－18 (ファミリーなし)	1-6
Y	JP 2009-43918 A (キヤノン株式会社) 2009. 02. 26, 段落【0008】－【0026】, 図1－8 & US 2009/0074026 A1 & EP 2023454 A2 & CN 101369715 A	3-6
Y	WO 2009/057429 A1 (コニカミノルタオプト株式会社) 2009. 05. 07, 段落【0022】－【0065】, 図1－19 (ファミリーなし)	6

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求項1－6に係る発明は、2次元フォトリソニック結晶構造を有する面発光レーザを有する光記録ヘッドに関する発明である。

請求項7－22に係る発明は、回折格子を有する面発光半導体レーザと、当該面発光レーザを備えた光記録ヘッドと光記録装置に関する発明である。

そして、これら2つの発明群が単一の一般的発明概念を形成するように関連している一群の発明であるとは認められない。

よって、請求項1－22に係る発明は、発明の単一性の要件を満たしていない。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

請求項1－6

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。