

(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

(43) 国際公開日
2015年7月2日(02.07.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/099176 A1

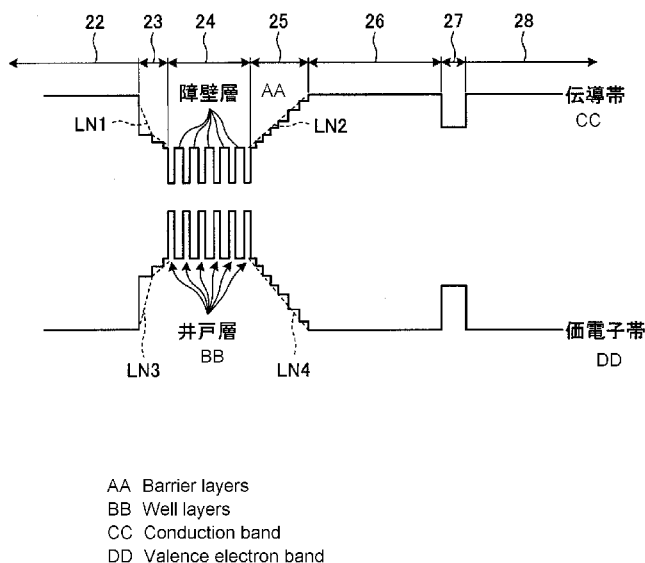
- (51) 国際特許分類:
H01S 5/22 (2006.01) H01S 5/20 (2006.01)
H01S 5/12 (2006.01) H01S 5/343 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/084697
- (22) 国際出願日: 2014年12月26日(26.12.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
61/920,947 2013年12月26日(26.12.2013) US
- (71) 出願人: 古河電気工業株式会社(FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 伊藤 章(ITO, Akira); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 吉田 順自(YOSHIDA, Junji); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 清田 和明(KIYOTA, Kazuaki); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 酒井 宏明, 外(SAKAI, Hiroaki et al.); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング 特許業務法人酒井国際特許事務所 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, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: SEMICONDUCTOR LASER ARRAY, SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT, SEMICONDUCTOR LASER MODULE, AND WAVELENGTH-VARIABLE LASER ASSEMBLY

(54) 発明の名称: 半導体レーザアレイ、半導体レーザ素子、半導体レーザモジュール、および波長可変レーザアセンブリ

[図3]



AA Barrier layers
BB Well layers
CC Conduction band
DD Valence electron band

(57) Abstract: A semiconductor laser array is provided with a plurality of semiconductor lasers that produce single-mode oscillation at mutually different oscillation wavelengths. Each of the semiconductor lasers has: an active layer that includes a multiple quantum well structure having a plurality of well layers and barrier layers which are alternately laminated; and, sandwiching the active layer in the thickness direction, a p-side separated confinement heterostructure layer and an n-side separated confinement heterostructure layer having greater bandgap energy than the barrier layers of the active layer. The active layer is doped with n-type impurities. In so doing, there is provided a semiconductor laser array that can output high-intensity laser light over a wide bandwidth.

(57) 要約: 半導体レーザアレイは、互いに異なる発振波長で単一モード発振する複数の半導体レーザを備え、前記各半導体レーザは、交互に積層した複数の井戸層と障壁層とを有する多重量子井戸構造を含む活性層と、該活性層を厚さ方向より挟んで形成され、該活性層の前記障壁層よりもバンドギャップエネルギーの大きなn側分離閉じ込めヘテロ構造層およびp側分離閉じ込めヘテロ構造層とを備え、前記活性層には、n型不純物がドーピングされている。これにより、広帯域において高強度なレーザ光を出力できる半導体レーザアレイを提供する。

よびp側分離閉じ込めヘテロ構造層とを備え、前記活性層には、n型不純物がドーピングされている。これにより、広帯域において高強度なレーザ光を出力できる半導体レーザアレイを提供する。

WO 2015/099176 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

半導体レーザアレイ、半導体レーザ素子、半導体レーザモジュール、および波長可変レーザアセンブリ

技術分野

[0001] 本発明は、半導体レーザアレイ、半導体レーザ素子、半導体レーザモジュール、および波長可変レーザアセンブリに関するものである。

背景技術

[0002] DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) 光通信用の波長可変光源として、互いにレーザ発振波長が異なる複数の半導体レーザを集積した半導体レーザアレイが開示されている（たとえば特許文献1参照）。この種の半導体レーザアレイは、動作させる半導体レーザを切り替えて、出力するレーザ光の波長を変化させることによって波長可変レーザとして機能する半導体レーザ素子に利用される。

[0003] この半導体レーザ素子は、半導体レーザアレイ、光導波路アレイ、光合流器、半導体光増幅器 (Semiconductor Optical Amplifier: SOA) を順次接続した構成を有する。この半導体レーザ素子では、動作させる半導体レーザからのレーザ光が光合流器を通過した後、SOAによって光増幅されて素子の出力端から出力される。

[0004] そして、このような半導体レーザ素子は、たとえばピグテイルファイバ付きの半導体レーザモジュールに組み込まれて使用される。

[0005] さらに、このような半導体レーザモジュールは、外部変調器と組み合わせた波長可変レーザアセンブリとして利用され、たとえばDWDM光通信ネットワークシステムにおける長距離光伝送のための信号光源として使用される。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2004-349692号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] ここで、伝送速度が40、100、400Gbpsのデジタルコヒーレント伝送用途の信号光源または局発光源として、広帯域において高強度なレーザ光を出力できる波長可変レーザが必要である。

[0008] たとえば、一般的な例として、DP-QPSK (Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying) 方式の100Gbps伝送で用いられる光源としては、半導体レーザモジュールのピグテイルファイバからの出力光強度が40mW以上、スペクトル線幅が500kHz以下であることが要求される。また別の例として、DP-16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 方式の400Gbps伝送では、半導体レーザモジュールのピグテイルファイバからの出力光強度が40mW以上、スペクトル線幅が100kHz以下であることが要求される。

[0009] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、広帯域において高強度なレーザ光を出力できる半導体レーザアレイ、半導体レーザ素子、半導体レーザモジュール、および波長可変レーザアセンブリ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

[0010] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明の一態様に係る半導体レーザアレイは、互いに異なる発振波長で単一モード発振する複数の半導体レーザを備え、前記各半導体レーザは、交互に積層した複数の井戸層と障壁層とを有する多重量子井戸構造を含む活性層と、該活性層を厚さ方向より挟んで形成され、該活性層の前記障壁層よりもバンドギャップエネルギーの大きなn側分離閉じ込めヘテロ構造層およびp側分離閉じ込めヘテロ構造層とを備え、前記活性層には、n型不純物がドーピングされていることを特徴とする。

- [0011] また、本発明の一態様に係る半導体レーザアレイは、前記n型不純物のドーピング濃度は、 1×10^{17} 以上 3×10^{18} 以下 cm^{-3} であることを特徴とする。
- [0012] また、本発明の一態様に係る半導体レーザアレイは、前記n型不純物は、S、Se、およびSiのうち、少なくとも1つを含むことを特徴とする。
- [0013] また、本発明の一態様に係る半導体レーザアレイは、前記p側分離閉じ込めヘテロ構造層は、前記n側分離閉じ込めヘテロ構造層よりも厚く、前記p側分離閉じ込めヘテロ構造層のバンドギャップエネルギーは、前記活性層から離れるにしたがって大きくなるように構成されていることを特徴とする。
- [0014] また、本発明の一態様に係る半導体レーザアレイは、前記p側分離閉じ込めヘテロ構造層のバンドギャップエネルギーは、前記活性層から離れるにしたがって直線的に大きくなるように構成されていることを特徴とする。
- [0015] また、本発明の一態様に係る半導体レーザアレイは、前記各半導体レーザの共振器長が $1200\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。
- [0016] また、本発明の一態様に係る半導体レーザアレイは、前記各半導体レーザは、前記各共振波長に対応する周期を有する回折格子を備えることを特徴とする。
- [0017] また、本発明の一態様に係る半導体レーザアレイは、前記各半導体レーザの前記回折格子の結合係数と前記各半導体レーザの共振器長との積が 1.3 以上 1.7 以下であることを特徴とする。
- [0018] また、本発明の一態様に係る半導体レーザ素子は、半導体レーザアレイと、前記複数の前記半導体レーザから出力されたレーザ光を合流させることができる光合流器と、前記光合流器からの出力光を増幅する半導体光増幅器と、を備え、前記複数の前記半導体レーザのうち動作させる前記半導体レーザの切り替えおよび前記半導体レーザの温度変化によって前記半導体レーザから出力されるレーザ光の波長を変化させることを特徴とする。
- [0019] また、本発明の一態様に係る半導体レーザモジュールは、半導体レーザ素子と、該半導体レーザ素子が出力するレーザ光を外部へ出射する光ファイバ

と、前記半導体レーザ素子が出力するレーザ光を前記光ファイバに結合する光学部品と、を備えることを特徴とする。

[0020] また、本発明の一態様に係る波長可変レーザアセンブリは、半導体レーザモジュールを駆動制御する電子基板上に実装したことを特徴とする。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、広帯域において高強度なレーザ光を出力できる半導体レーザアレイ、半導体レーザ素子、半導体レーザモジュール、および波長可変レーザアセンブリを実現することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]図1は、本発明の実施の形態1に係る半導体レーザアレイおよび半導体レーザ素子の模式的な平面図である。

[図2]図2は、本発明の実施の形態1に係る半導体レーザアレイの断面の一部を示す図である。

[図3]図3は、図1に示す半導体レーザアレイの活性層周辺のエネルギーバンドダイヤグラムを表す図である。

[図4]図4は、図1に示す半導体レーザ素子の光合流器の断面図である。

[図5]図5は、本発明の実施の形態2に係る半導体レーザモジュールおよび波長可変レーザアセンブリの模式的な平面図である。

[図6]図6は、比較例、実施例1-1、実施例1-2の半導体レーザ素子におけるPL発光スペクトルを表す図である。

[図7]図7は、比較例、実施例1-1、実施例1-2の半導体レーザ素子における波長と光利得との関係を表す図である。

[図8]図8は、比較例と実施例1-1との半導体レーザ素子の出力レーザ光をレンズ系を介して、光ファイバに結合させた半導体レーザモジュールの光出力特性を表す図である。

[図9]図9は、比較例、実施例1-1における半導体レーザアレイ素子の光出力と半導体レーザ素子の光出力との関係を表す図である。

[図10]図10は、比較例、実施例1-1、実施例1-2、実施例2の半導体

レーザ素子を同一光出力で駆動した際のレーザ発振スペクトルを表す図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下に、図面を参照して本発明に係る半導体レーザアレイ、半導体レーザ素子、半導体レーザモジュール、および波長可変レーザアセンブリの実施の形態を説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、図面の記載において、同一または対応する要素には適宜同一の符号を付している。さらに、図面は模式的なものであり、各層の厚みと幅との関係、各層の比率などは、現実のものとは異なる場合があることに留意する必要がある。図面の相互間においても、互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれている場合がある。

[0024] (実施の形態1)

まず、本実施の形態1に係る半導体レーザアレイおよび半導体レーザ素子について説明する。図1は、本発明の実施の形態1に係る半導体レーザアレイおよび半導体レーザ素子の模式的な平面図である。図1に示すように、半導体レーザアレイ1は、複数の半導体レーザとしてのDFB（分布帰還型：Distributed Feedback）レーザ11-1～11-N（Nは2以上の整数）を有する半導体レーザアレイである。半導体レーザ素子100は、半導体レーザアレイ1と、半導体レーザアレイ1の各DFBレーザからの出力光が入力される光導波路アレイ2と、光導波路アレイ2から入力された光を合流させて出力する光合流器3と、光合流器3からの出力光を増幅する半導体光増幅器としてのSOA4とを備える半導体レーザ素子である。また、半導体レーザ素子100は、これらを1つの半導体基板上に集積し、埋め込み部5により埋め込んでメサ構造としている。

[0025] はじめに、半導体レーザアレイ1の構成を詳細に説明する。DFBレーザ11-1～11-Nは、各々がたとえば幅1.5 μ m～3 μ mのストライプ状の埋め込み構造を有する端面発光型レーザであり、幅方向にたとえば25 μ mピッチで形成されている。また、図1に示すように、DFBレーザ11

1-1 ~ 1-1-N の長さを共振器長 L_{dfb} とすると、共振器長 L_{dfb} は、たとえば $1200\mu m$ 以上 $1500\mu m$ 以下である。さらに、DFBレーザ 1-1 ~ 1-1-N 間の埋め込み部 5 には、トレンチ溝 16-1 ~ 16-M ($M=N-1$) が設けられている。

[0026] DFBレーザ 1-1 ~ 1-1-N は、各 DFBレーザの発振波長に対応する周期を有する回折格子を備える。そして、各 DFBレーザに備えられた回折格子の周期を互いに異ならせることにより、出力光が単一モード発振のレーザ光となり、そのレーザ発振波長が約 $1530nm$ ~ $1570nm$ の範囲で互いに相違するように構成されている。また、DFBレーザ 1-1 ~ 1-1-N の各発振波長は、半導体レーザアレイ 1 の設定温度を変化させることにより微調整することができる。すなわち、半導体レーザアレイ 1 は、駆動する DFBレーザの切り替えと温度制御とにより、広い波長可変範囲を実現している。

[0027] なお、温度調整による DFBレーザ 1-1 ~ 1-1-N のそれぞれのレーザ発振波長の微調整の範囲は、 $3nm$ 程度以下とすることが好ましい。したがって、約 $1530nm$ ~ $1570nm$ の波長範囲をカバーするためには、DFBレーザ 1-1 ~ 1-1-N の個数は 12 以上が好ましく、たとえば 16 である。ただし、N の値は特に限定されない。また、DFBレーザ 1-1 ~ 1-1-N の発振波長の範囲は、たとえば約 $1570nm$ ~ $1610nm$ としてもよく、特に限定されない。

[0028] 図 2 は、本発明の実施の形態 1 に係る半導体レーザアレイの断面の一部を示す図である。すなわち、図 2 は、図 1 における A-A 線断面の一部を示す図である。図 2 に示すように、たとえば DFBレーザ 1-2 は、 n 型 InP 基板 21 上に、順次積層した、下部クラッドを兼ねる n 型 InP バッファ層 22、 $InGaAsP$ からなる n 側 SCH (Separate Confinement Heterostructure) 層 23、MQW (多重量子井戸構造: Multi-Quantum Well) 構造の活性層 24、 $InGaAsP$ からなる p 側 SCH 層 25、 InP スペーサ層 26、 In

GaAsPまたはAlGaInAsからなるグレーティング層27、およびp型InP層28を備えている。グレーティング層27には回折格子が形成されている。

[0029] p型InP層28からn型InPバッファ層22の一部に到るまでの層はストライプ状のメサ構造を有している。このメサ構造は、p型InP埋め込み層32とn型InP電流ブロッキング層33により埋め込まれている。また、p型InP層28とn型InP電流ブロッキング層33の上には、p型InPクラッド層34、InGaAsコンタクト層35が順次積層している。また、各半導体層の外側表面はSiN保護膜38により保護されている。さらに、SiN保護膜38はInGaAsコンタクト層35上でその一部が開口している。この開口部にはp側電極39が形成されている。また、n型InP基板21上の裏面にはn側電極40が形成されている。

[0030] 活性層24は、交互に積層した複数の井戸層と障壁層とを有している。井戸層および障壁層は、InGaAsP系半導体材料、またはAlGaInAs系半導体材料からなる。活性層24は、基板との格子不整合度が正となる圧縮歪み量子井戸構造がより好適である。ただし、障壁層は、格子不整合度が負となる引っ張り歪み量子井戸を導入した歪補償構造であってもよい。

[0031] 活性層24の組成は、DFBレーザ11-1~11-Nの発振波長およびSOA4の光増幅に対応する帯域である、たとえば1530nm~1570nmの中央近傍、すなわち1550nm近傍に利得ピークの波長を有するように設定されている。この組成の設定による半導体レーザおよびSOAの利得ピークの波長は、素子の動作温度範囲によって最適化されるものである。

[0032] さらに、活性層24の井戸層と障壁層とには、均一にn型不純物であるS原子がドーピングされている。n型不純物としてはS原子以外にSe、Siを用いることもできる。不純物を添加する目的は、レーザ作製工程における熱過程で、熱によりp型不純物が活性層に拡散し、光の吸収損失が増加することを防ぐためである。n型不純物のドーピング濃度は、 1×10^{17} 以上 3×10^{18} 以下 cm^{-3} であることが好ましい。ドーピング濃度が $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$

m^{-3} より低くなると、上述したドーピングの効果が得られず、高光出力化が不十分となり、また $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ より高くなると、活性層24の結晶性が劣化し、非発光成分が増加し、高光出力動作を妨げるとともに信頼性の確保が困難になる。

[0033] また、活性層24の幅は、たとえば $1.4 \mu\text{m}$ 以上 $1.7 \mu\text{m}$ 以下である。他のDFBレーザ11-1、11-3～11-Nについては、活性層24の組成や厚さを含めて、DFBレーザ11-2と略同一の構造を有する。

[0034] n側SCH層23およびp側SCH層25は、活性層24を厚さ方向より挟んで形成され、活性層24の障壁層よりもバンドギャップエネルギーが大きくなるように組成を段階的に変化したGRIN (Graded Index) -SCH構造を有する。

[0035] 図3は、図1に示す半導体レーザアレイの活性層周辺のエネルギーバンドダイヤグラムを表す図である。図3に示すように、n側SCH層23には、組成波長が異なるInGaAsPバルクによって、3段のSCH構造が形成されている。そして、n側SCH層23は、破線LN1、破線LN3が活性層24から離れるにつれてバンドギャップエネルギーの変化率が大きくなるようなバンドダイヤグラムを形成している。なお、ホールの注入効率を改善するにはn側SCH層23のバンドギャップエネルギーは、直線状に配置されていなくてもよく、破線LN1が上に凸、破線LN3が下に凸になるように活性層24から離れるにしたがってバンドギャップエネルギーが大きくなるように構成されていけばよい。

[0036] これに対し、p側SCH層25は、n側SCH層23より厚く、組成波長が異なるInGaAsPバルクによって、7段のSCH構造が形成されている。p側SCH層25は、破線LN2および破線LN4に示すような直線状に各層のバンドギャップが配置されるように膜厚が設定されている。

これは、擬似的にリニアSCH構造を実現するためであり、活性層24へのキャリア、特に、電子の注入効率を高くするためである。なお、p側SCH層25のバンドギャップエネルギーは、直線状に配置されていなくてもよ

く、破線L N 2 が上に凸、破線L N 4 が下に凸になるように活性層 2 4 から離れるにしたがってバンドギャップエネルギーが大きくなるように構成されていけばよい。

このとき、p側SCH層 2 5 は、電子のオーバーフローを抑制し、活性層 2 4 へのキャリア注入効率を改善する効果を有する。

さらに、厳密な組成制御が可能で格子整合状態が実現できれば、SCH層を構成するInGaAsPのIII族原子とV族原子とが連続的に変化するリニアSCH構造を用いてもよい。

[0037] なお、n側SCH層 2 3 は、キャリア注入効率を改善するには多段であることが好ましく、n側SCH層 2 3 をp側SCH層 2 5 と同様の構造にしてもよい。ただし、n側SCH層 2 3 は、多段化による結晶欠陥等の影響を抑制するためには、たとえば2～3段のSCH構造であることが好ましい。一方、p側SCH層 2 5 は、結晶品質を維持しながら、複雑な組成制御を行うことなく簡便な構造でキャリア注入効率を改善するには多段であることが好ましく、たとえば6～7段のSCH構造であることが好ましい。

[0038] このように、n側SCH層 2 3 とp側SCH層 2 5 との構造が異なり、n側SCH層 2 3 とp側SCH層 2 5 とのバンドギャップエネルギーが活性層 2 4 を挟んで非対称とされていることにより、所望の特性を有するDFBレーザを設計することができる。

[0039] つぎに、半導体レーザ素子 1 0 0 の構成を詳細に説明する。図 1 に戻り、光導波路アレイ 2 は、半導体レーザアレイ 1 のDFBレーザ 1 1 - 1 ~ 1 1 - Nからの出力光がそれぞれ入力されるN個の光導波路 1 2 - 1 ~ 1 2 - Nを有する。光導波路 1 2 - 1 ~ 1 2 - Nは、半導体レーザアレイ 1 と光合流器 3 との間に形成されており、後述する光合流器 3 と同様の埋め込みメサ構造を有しており、半導体レーザアレイ 1 の各DFBレーザと光合流器 3 のN個の入力ポートとを光学的に接続している。

[0040] 光合流器 3 は、N個の入力ポートと1つの出力ポートとを有するMMI (Multi-Mode Interferometer) 型光カプラである

。図4は、図1に示す半導体レーザ素子の光合流器の断面図である。すなわち、図4は、図1におけるB-B線断面を示す図である。図4に示すように、光合流器3は、半導体レーザアレイ1の各DFBレーザと同様の埋め込みメサ構造を有するが、n側SCH層23からp型InP層28までの積層構造を、InGaAsPコア層30とi型InP層31との積層構造に置き換えた構造を有している。また、光合流器3は、メサ幅が半導体レーザアレイ1の各DFBレーザよりも幅広く形成されている。また、光合流器3においては、SiN保護膜38の開口部とp側電極39とは形成されていない。

[0041] なお、光合流器3は、MMI型光カプラに限定されず、たとえばフレネルカプラのような他のN×1光カプラでもよい。

[0042] SOA4は、光合流器3の1つの出力ポート3aに接続している。SOA4は、半導体レーザアレイ1の各DFBレーザと同様の埋め込みメサ構造を有する。ただし、SOA4はDFBレーザとは異なりグレーティング層27を有さず、その代わりにp型InP層が形成されている。また、製造プロセスの効率化の観点から、半導体レーザアレイ1の各DFBレーザとSOA4との活性層構造は同一の構造を適用したが、構造が異なるものであってもよい。SOA4においても、活性層の幅は、たとえば1.4 μm以上1.7 μm以下であるが、半導体レーザアレイ1が出力するレーザ光を単一モードで導波できる幅であれば特に限定はされない。

[0043] つぎに、半導体レーザアレイ1および半導体レーザ素子100の動作を説明する。まず、半導体レーザアレイ1のDFBレーザ11-1～11-Nの中から選択した1つのDFBレーザを駆動し、所望の波長の単一モードレーザ光を出力させる。トレンチ溝16-1～16-MはDFBレーザ11-1～11-N間を電氣的に分離するのでDFBレーザ間の分離抵抗が大きくなり、DFBレーザ11-1～11-Nの中の1つを選択して駆動することが容易にできる。

[0044] つぎに、複数の光導波路12-1～12-Nのうち、駆動したDFBレーザと光学的に接続している光導波路は、そのDFBレーザからのレーザ光を

単一モードで導波する。光合流器 3 は、光導波路を導波したレーザ光を通過させて出力ポート 3 a から出力する。SOA 4 は、出力ポート 3 a から入力されたレーザ光を増幅して、出力端 4 a から半導体レーザ素子 100 の外部に出力する。ここで、SOA 4 は、半導体レーザアレイ 1 からのレーザ光の光合流器 3 による光の損失を補うとともに、出力端 4 a から所望の強度の光出力を得るために用いられる。なお、光合流器 3 が N 個の入力ポートと 1 個の出力ポートを有する場合、半導体レーザアレイ 1 からのレーザ光の強度は、光合流器 3 によって約 $1/N$ に減衰される。

[0045] (実施の形態 2)

つぎに、本実施の形態 2 に係る半導体レーザモジュールおよび波長可変レーザアセンブリについて説明する。図 5 は、本発明の実施の形態 2 に係る半導体レーザモジュールおよび波長可変レーザアセンブリの模式的な平面図である。図 5 に示すように、半導体レーザモジュール 150 は、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 100 を用いた半導体レーザモジュールであり、波長可変レーザアセンブリ 200 は、この半導体レーザモジュール 150 を用いた波長可変レーザアセンブリである。

[0046] 半導体レーザモジュール 150 は、筐体 101 に収容されたペルチェ素子 102 と、ペルチェ素子 102 上に載置されたペルチェ素子 103 と、ペルチェ素子 103 上にサブマウント 104 を介して載置された半導体レーザ素子 100 およびサーミスタ 105 と、ペルチェ素子 103 上に載置されたコリメータレンズ 106 と、ペルチェ素子 102 上に載置されたビームスプリッタ 107、フォトダイオード 108、エタロンフィルタ 109、およびフォトダイオード 110 と、筐体 101 の突出部に収容された光アイソレータ 111、光学部品としての集光レンズ 112、および光ファイバ 113 とを備えている。

[0047] 波長可変レーザアセンブリ 200 は、電子基板 201 上に実装された、半導体レーザモジュール 150 と、半導体レーザモジュール 150 を駆動制御する制御装置 202 とを備えている。

[0048] つぎに、半導体レーザモジュール150および波長可変レーザアセンブリ200の構成を詳細に説明する。半導体レーザ素子100は、実施の形態1で説明した構成と同一の構成であってよいが、SOA4の出力端4aには曲げ導波路が接続されている。半導体レーザ素子100は、所定の波長、所定の光強度の単一モード発振のレーザ光Lを出力する。

[0049] サーミスタ105は、半導体レーザ素子100の近傍に配置されており、半導体レーザ素子100の温度をモニタするために使用される。コリメータレンズ106は、半導体レーザ素子100が出力したレーザ光Lを平行光にする。ビームスプリッタ107は、レーザ光Lの大部分（たとえば90%以上）を透過しつつ、一部の光を反射光RLとして反射する。フォトダイオード108は、反射光RLの光路の一部を遮るように配置されており、反射光RLの一部を受光し、その受光量に応じた電流を出力する。エタロンフィルタ109は、波長に対して周期的に変化する透過波長特性を有しており、フォトダイオード108により遮られなかった反射光RLをその波長に応じた透過率で透過する。フォトダイオード110は、エタロンフィルタ109が透過した反射光RLを受光し、その受光量に応じた電流を出力する。なお、フォトダイオード108はレーザ光Lの強度をモニタするために使用される。また、エタロンフィルタ109とフォトダイオード110とはレーザ光Lの波長をモニタするために使用される。

[0050] また、光アイソレータ111は、ビームスプリッタ107を透過したレーザ光Lを透過しつつ、光ファイバ113側から半導体レーザ素子100へ戻る光を遮断する。集光レンズ112は、光アイソレータ111を透過したレーザ光Lを光ファイバ113に結合させる。光ファイバ113は、レーザ光Lを半導体レーザモジュール150の外部へ導波して出力するピグテイルファイバである。

[0051] ペルチェ素子102は、半導体レーザ素子100を冷却するとともに、エタロンフィルタ109の温度を調整するために使用される。ペルチェ素子103は、半導体レーザ素子100の温度調整のために使用される。また、制

制御装置 202 は、電子基板 201 上に設けられた配線を介して、サーミスタ 105 の電気抵抗値を測定し、フォトダイオード 108、フォトダイオード 110 からの電流を受付けるとともに、ペルチェ素子 102、ペルチェ素子 103、および半導体レーザ素子 100 に駆動電流を供給する。

[0052] つぎに、半導体レーザモジュール 150 および波長可変レーザアセンブリ 200 の動作について説明する。はじめに、出力すべきレーザ光 L の波長および光強度に応じて、半導体レーザ素子 100 の複数の DFB レーザから、駆動すべき DFB レーザを選択し、選択した DFB レーザの温度および駆動電流、ならびに半導体レーザ素子 100 の SOA 4 の駆動電流を決定する。なお、この選択および決定は、たとえば、外部からの指令に基づき、制御装置 202 に記憶された各 DFB レーザおよび SOA 4 の温度と駆動電流との関係を示すテーブルに基づいて実行することができる。

[0053] つぎに、制御装置 202 は、決定した DFB レーザの温度および駆動電流、ならびに SOA 4 の駆動電流に基づき、ペルチェ素子 102、ペルチェ素子 103 に駆動電流を供給して選択した DFB レーザの温度を調整するとともに、選択した DFB レーザおよび SOA 4 に駆動電流を供給する。駆動電流を供給した DFB レーザは、所望の波長のレーザ光 L を出力する。

[0054] レーザ光 L は、光導波路アレイ 2、光合流器 3 を介して SOA 4 に入力され、SOA 4 で増幅されて曲げ導波路に入力される。曲げ導波路は、増幅されたレーザ光 L を、出射端面に対し約 7 度だけ傾斜させて出力する。なお、レーザ光 L の出射端面に対する傾斜角度は、6～12 度の範囲に調整することが望ましい。これにより、レーザ光 L のうち、出射端面での反射によって DFB レーザ側へ戻る光の量を減少させることができる。

[0055] 半導体レーザ素子 100 が出力したレーザ光 L は、コリメータレンズ 106、ビームスプリッタ 107、光アイソレータ 111、集光レンズ 112 を順次通過して光ファイバ 113 に結合し、半導体レーザモジュール 150 の外部に出力される。

[0056] なお、制御装置 202 は、サーミスタ 105 によりモニタした半導体レー

ザ素子 100 の温度、およびフォトダイオード 108、フォトダイオード 110 およびエタロンフィルタ 109 によりモニタしたレーザ光 L の光強度および波長に基づいて、ペルチェ素子 102、ペルチェ素子 103、選択した DFB レーザ、および SOA 4 の駆動電流を調整することによって、レーザ光 L の光強度および波長が一定になるようにフィードバック制御する。

[0057] (実施例)

つぎに、実施例として、実施の形態 1 に係る半導体レーザアレイ 1、半導体レーザ素子 100、および実施の形態 2 に係る半導体レーザモジュール 150、波長可変レーザアセンブリ 200 について種々の特性を測定した結果を示す。具体的には、表 1 に記載した実施例 1-1、実施例 1-2 (実施例 1)、実施例 2、比較例の構造を有する DFB レーザと、この DFB レーザを用いたデバイスを作製し、特性の比較を行った。

[0058]

[表1]

(表1)

	比較例	実施例1-1	実施例1-2	実施例2
活性層へのドーピング	なし	n型(S)		n型(S)
ドーピング濃度(cm^{-3})	0	6×10^{17}	1.2×10^{18}	6×10^{17}
SCH構造	3段	7段	7段	7段
	3段	3段	3段	3段
井戸数	6	6		5
光閉じ込め係数(%)<計算値>	5	4.9		3.7
垂直方向の遠視野像(°)<計算値>	28.3	27.2		24.6
水平方向の遠視野像(°)<計算値>	22.9	21.9		19.2
遠視野像の比(垂直/水平)	1.23	1.24		1.28
InPスペーサ層の厚さ(nm)	155	140		140
グレーティング層の厚さ(nm)	20	25		25

表1は、本実施例のDFBレーザの特徴的な素子構造を示している。まず、実施例のDFBレーザは、活性層24の井戸層と障壁層とに均一にn型不純物であるS原子をドーピングした構造である。実施例1では、不純物濃度の低い構造を実施例1-1、不純物濃度の高い構造実施例1-2とした。実施例2は、実施例1-1と同じ不純物濃度とした。一方、比較例のDFBレーザは、実施例1-1の活性層24と異なり、活性層にn型不純物をドーピ

ングしていない。

[0059] また、実施例のDFBレーザと比較例のDFBレーザとは、活性層24を挟んで形成されたSCH層に構造的な違いがある。比較例のDFBレーザは、n側およびp側に3段のSCH構造が形成されている。これに対し、実施例のDFBレーザは、n側に3段、p側に7段のSCH構造が形成されている。

[0060] 実施例において、n側のSCH構造、すなわちn側SCH層23は、組成波長が1.15 μm 、1.2 μm 、および1.25 μm のInGaAsPバルクの3段で構成され、総厚が30 nmである。一方、p側のSCH構造、すなわちp側SCH層25は、組成波長が0.95 μm 、1.00 μm 、1.05 μm 、1.10 μm 、1.15 μm 、1.20 μm 、および1.25 μm のInGaAsPバルクの7段構造で、総厚が61 nmである。一方、比較例においては、p側のSCH構造は、組成波長が1.15 μm 、1.2 μm 、および1.25 μm のInGaAsPバルクの3段で構成され、総厚が30 nmである。

[0061] また、比較例および実施例1では、活性層の井戸層の数を6層とし、同等の光閉じ込め係数を有する構造とした。これに対し、実施例2では、井戸数を5層と低減させ、比較例および実施例1よりも光閉じ込め係数の小さい構造とした。

[0062] また、比較例および実施例の構造において、光ファイバとの結合効率が同程度になるように、垂直方向および水平方向の遠視野像の比がほぼ一定となるように素子設計を行った。

[0063] また、比較例および実施例の構造において、後述するようにDFBレーザの結合係数 κ を調整するため、DFBレーザのグレーティング層とInPスペーサ層との厚さを各々の構造で調整した。

[0064] つぎに、上述したDFBレーザを用いた比較例および実施例の半導体レーザ素子100の評価を行った。図6は、比較例、実施例1-1、実施例1-2の半導体レーザ素子におけるPL発光スペクトルを表す図である。図6が

ら、実施例 1-1、実施例 1-2 では、比較例と比較して P L 発光スペクトルの強度が小さく、P L 発光スペクトルの帯域が広いことがわかる。このことから、実施例 1-1、実施例 1-2 の半導体レーザ素子 100 では、発振波長と利得ピークとの差で定義されるデチューニングの影響が小さく、異なる波長で発振する D F B レーザの特性のばらつきを小さくできるという効果を奏する。

[0065] [表2]

(表2)

	比較例	実施例1-1	実施例1-2
半値全幅(nm)	61.7	151.2	178.8
半値全幅(meV)	31.8	80.1	95.9

[0066] 表 2 は、図 6 の P L 発光スペクトルの半値全幅を表す表である。表 2 に示すとおり、実施例 1-1、実施例 1-2 では、比較例より半値全幅が 2 倍以上拡大していることがわかる。これは、実施例 1 の活性層 24 に n 型不純物濃度が添加されていることによる。さらに、表 2 に示すとおり、実施例 1-2 では、半値全幅が実施例 1-1 の 151.2 nm から 178.8 nm へと拡大したことがわかる。これは、実施例 1-2 の活性層 24 に添加した n 型不純物濃度が 2 倍高いことによる。つまり、活性層 24 の n 型不純物の濃度を制御することにより、P L 発光スペクトルの全幅および半値全幅を制御できる効果がある。

[0067] 図 7 は、比較例、実施例 1-1、実施例 1-2 の半導体レーザ素子における波長と光利得との関係を表す図である。図 7 から、実施例 1-1、実施例 1-2 では、比較例と比較して広帯域で光利得が大きいことがわかる。これは、実施例 1 において D F B レーザの活性層 24 に n 型不純物がドーピングされているためである。活性層 24 に n 型不純物がドーピングされると、活性層 24 のキャリア数が増大し、反転分布が起きやすい状態となる。この状態では、より高次の準位からも遷移が起こるため、広帯域において光利得が大きくなる。すなわち、活性層 24 に n 型不純物がドーピングされた実施例

1の構造により、広帯域で出力光強度の高いDFBレーザを実現できることが示された。したがって、このDFBレーザを用いた半導体レーザアレイ1、半導体レーザ素子100、半導体レーザモジュール150、および波長可変レーザアセンブリ200は、広帯域において高強度なレーザ光を出力できるデバイスである。

[0068] さらに、本実施例の各光デバイスは以下に説明する有利な特性を有する。図8は、比較例と実施例1-1との半導体レーザ素子の出力レーザ光をレンズ系を介して、光ファイバに結合させた半導体レーザモジュールの光出力特性を表す図である。図8では、半導体レーザ素子100の駆動温度を65℃に設定し、DFBレーザの駆動電流を一定電流とし、SOA4の印加電流を掃引することで測定を行った。

[0069] 図8に示すとおり、実施例1-1では、比較例よりも15%程度の高出力動作が得られることが示された。また、半導体レーザモジュール150から50mWの光出力を得るためのSOA4の駆動電流は、実施例1-1が約360mAであるのに対し、比較例が約440mAである。すなわち、実施例1-1の方が80mA程度低く、より低消費電力の半導体レーザ素子および半導体レーザモジュールを実現できることが示された。

また、実施例1-1と比較例とにおいて、半導体レーザモジュールの光ファイバからの出力が22.4mW時の線幅を測定した。実施例1-1の線幅は、比較例よりも90kHz程度小さい410kHzであり、より狭線幅の半導体レーザ素子および半導体レーザモジュールを実現できることが示された。これは、実施例1-1においてSOA4での駆動電流が比較例よりも低減することでSOA4からDFBレーザアレイ領域への戻り光が低減したためである。

[0070] さらに、この半導体レーザ素子100を用いて半導体レーザモジュール150を作製した場合に、半導体レーザ素子100からの光出力を光ファイバ113に結合させるときの結合損失として1dB程度を想定する。このとき、半導体レーザ素子100からの光出力強度が50mW以上であると、半導

体レーザモジュール150からの光出力強度を約40mW以上とできる。これによって、上述したデジタルコヒーレント伝送用途の信号光源としての適用好ましい光出力強度を有する半導体レーザモジュールを実現できる。

[0071] また、半導体レーザモジュール150を駆動回路に実装した波長可変レーザアセンブリ200では、今後、小サイズ化が要求されるが、このとき半導体レーザ素子100の消費電力の低減が重要な課題になる。本実施例1-1に係る半導体レーザ素子100は、低消費電力であるため、小型ITLA (Integrable Tunable Laser Assembly) に用いて好適な素子である。

[0072] 図9は、比較例、実施例1-1における半導体レーザアレイ素子の光出力と半導体レーザ素子の光出力との関係を表す図である。図9では、半導体レーザ素子100の駆動温度を31℃に設定し、DFBレーザへの注入電流を150mA、SOA4への注入電流を175mAとした。

[0073] 比較例と実施例1-1とを比較すると、実施例1-1では、半導体レーザアレイ1からの出力が比較例よりも高出力であり、かつ、半導体レーザ素子100からの出力も比較例よりも高出力であるという結果が得られた。SOA4の増幅率は13dBと構造によらずほぼ一定であるので、半導体レーザアレイ1の高出力化により半導体レーザ素子100の高出力化を実現できたことがわかる。

[0074] 図10は、比較例、実施例1-1、実施例1-2、実施例2の半導体レーザ素子を同一光出力で駆動した際のレーザ発振スペクトルを表す図である。図10から、実施例の方が比較例よりもSOA4のASE成分が小さいことが分かる。すなわち、実施例においてSSER (信号光対自然放出光比: Signal-to-Spontaneous Emission Ratio) が改善する。これは、実施例の半導体レーザアレイ1が高出力化されたことにより、SOA4の駆動電流が小さくなったためである。

[0075] さらに、実施例1-1と実施例1-2とでは、活性層24に添加した不純物濃度の大きい実施例1-2の方がSOA4でのASE成分のピーク強度が

低減している。実施例 1 - 2 は、P L 発光スペクトルの半値全幅が実施例 1 - 1 よりも広く、同一駆動条件での光出力が低い。このことから、活性層 2 4 に添加する不純物濃度を調整することにより、A S E の抑制効果を制御できるという効果があることが示された。

[0076] また、S S E R を改善するには、光閉じ込め係数が小さい方がよい。実施例 2 では、活性層の井戸数が少なく、光閉じ込め係数が小さいことにより、さらに A S E を抑制することができ、S S E R が改善されている。

[0077] ところで、上述したようにデジタルコヒーレント伝送用途の信号光源または局発光源として、高強度かつ狭線幅なレーザ光を出力できる波長可変レーザが必要である。波長可変レーザにおいて、狭線幅特性を実現するためには、一般的に半導体レーザの狭線幅化が行われる。

[0078] ここで、半導体レーザアレイ 1 において、駆動する D F B レーザが出力するレーザ光のスペクトル線幅は、各 D F B レーザの共振器長 L_{dfb} と、回折格子の結合係数 κ とに依存して変化する。具体的には、共振器長 L_{dfb} を長くしたり、結合係数 κ を大きくしたりするとスペクトル線幅を狭くすることができる。

[0079] しかしながら、各 D F B レーザの共振器長 L_{dfb} が短い場合、狭線幅特性を得るために結合係数 κ を大きく設定すると、サイドモード抑圧比 (Side-Mode Suppression Ratio: SMSR) が劣化し、単一モード発振する確率が低くなる。このため、半導体レーザアレイ 1 の歩留まりが低下し、コスト高となる。

[0080] 一方、各 D F B レーザの共振器長が長い場合、電流-光変換効率 (W/A) が低下する。それによって所望のスペクトル線幅を得るための D F B レーザの駆動電流が上昇し、消費電力が大きくなる場合がある。

[0081] したがって、各 D F B レーザにおいて κL_{dfb} は 1.5 程度にすることが好ましいが、たとえば 1.3 以上 1.7 以下であることが良好な単一モード発振特性と狭線幅特性とを両立する上で好ましい。

[0082] ここで、良好な単一モード発振特性を維持するためには、 $L_{dfb} \geq 12$

00 μm であることが好ましい。また、共振器長 L_{dfb} が大きい場合は、SOA4の増幅率を大きくしてもスペクトル線幅が大きくなりにくいのでこの点からも好ましい。また、たとえば $\kappa L_{dfb} = 1.5$ の場合において、 $L_{dfb} > 1500 \mu\text{m}$ よりさらに共振器長 L_{dfb} を長尺化しても、さらなるスペクトル線幅の低減の効果は得られない。このような観点から、 $L_{dfb} \leq 1500 \mu\text{m}$ にすることにより、半導体レーザ素子100の面積を必要以上に大きくすることなく所望のスペクトル線幅を得ることができる。これにより、一枚のウェハから獲得できる半導体レーザ素子100の数を大きくでき、製造コストを低減することができる。

[0083] また、共振器長 L_{dfb} が長く電流－光変換効率が問題となる場合、各DFBレーザのメサ幅（または活性層24の幅）を狭くすることによって、活性層24に注入される電流の電流密度を上げ、電流－光変換効率の低下を抑制することができる。このため、活性層24の幅は、たとえば $1.7 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。活性層24の幅を狭くすることによって、レーザ光の狭線幅化のために好適だけでなく、結合係数 κ が小さくなることによりSMSRを改善することもできる。ただし、活性層24の幅を狭くしすぎると、各DFBレーザの電気抵抗が増加するため、発熱により素子特性が劣化する場合がある。これを防止するため、活性層24の幅は、 $1.4 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。

[0084] また、本実施例および比較例のDFBレーザでは、InGaAsPで構成されるグレーティング層を用いている。このとき、グレーティング層の層厚が厚いほど、また、InPスペーサ層の層厚が薄いほど、DFBレーザの結合係数 κ が大きくなる傾向がある。表1に示すように、実施例1は、比較例と比較してInPスペーサ層が薄く、グレーティング層が厚くなっている。結合係数 κ の設計値とDFBレーザの共振器長 L_{dfb} との積 κL_{dfb} を比較すると、比較例は、 $\kappa L_{dfb} = 1.3$ であるのに対して、実施例1は、 $\kappa L_{dfb} = 1.7$ であった。このように、InPスペーサ層とグレーティング層との構造を変化させることで κL_{dfb} が大きくなっている。なお

、実施例2の結合係数 κ の設計値は、 $\kappa L d f b = 1.7$ であった。実施例2では、実施例1よりも活性層24の井戸層の数が1層少ない構造となっているが、 $\kappa L d f b$ が変わるほど、光の電界分布の広がりには大きな違いがなかったと考えられる。このように、InPスペーサ層とグレーティング層との層厚を調整することにより、所望の結合係数 κ とすることができる。

[0085] 以上のように、狭線幅化されたDFBレーザを用いた本発明に係る半導体レーザアレイ、半導体レーザ素子、半導体レーザモジュール、および波長可変レーザアセンブリは、デジタルコヒーレント伝送用途の信号光源または局発光源に利用して好適なものである。

[0086] また、Siフォトリソ用アレイ光源では、Si導波路への挿入損失が10dB以上あり、より高出力の光源が要求される。上述したDFBレーザは、レーザアレイ単体としても高出力動作が可能であるため、小型なSiフォトリソ用アレイ光源を実現する技術としても有効である。

[0087] また、上記実施の形態により本発明が限定されるものではない。上述した各構成要素を適宜組み合わせることで構成したものも本発明に含まれる。また、さらなる効果や変形例は、当業者によって容易に導き出すことができる。たとえば、上記実施の形態では、InGaAsP系の材料について説明したが、本発明は活性層にn型の不純物をドーピングすることにより他の材料系においても適用することができる。よって、本発明のより広範な態様は、上記の実施の形態に限定されるものではなく、様々な変更が可能である。

産業上の利用可能性

[0088] 以上のように、本発明に係る半導体レーザアレイ、半導体レーザ素子、半導体レーザモジュール、および波長可変レーザアセンブリは、主に光通信の用途に利用して好適なものである。

符号の説明

- [0089]
- 1 半導体レーザアレイ
 - 2 光導波路アレイ
 - 3 光合流器

- 3 a 出力ポート
- 4 SOA
- 4 a 出力端
- 5 埋め込み部
- 11-1 ~ 11-N DFBレーザ
- 12-1 ~ 12-N 光導波路
- 16-1 ~ 16-M トレンチ溝
- 21 n型InP基板
- 22 n型InPバッファ層
- 23 n側SCH層
- 24 活性層
- 25 p側SCH層
- 26 InPスペーサ層
- 27 グレーティング層
- 28 p型InP層
- 30 InGaAsPコア層
- 31 i型InP層
- 32 p型InP埋め込み層
- 33 n型InP電流ブロッキング層
- 34 p型InPクラッド層
- 35 InGaAsコンタクト層
- 38 SiN保護膜
- 39 p側電極
- 40 n側電極
- 100 半導体レーザ素子
- 101 筐体
- 102、103 ペルチェ素子
- 104 サブマウント

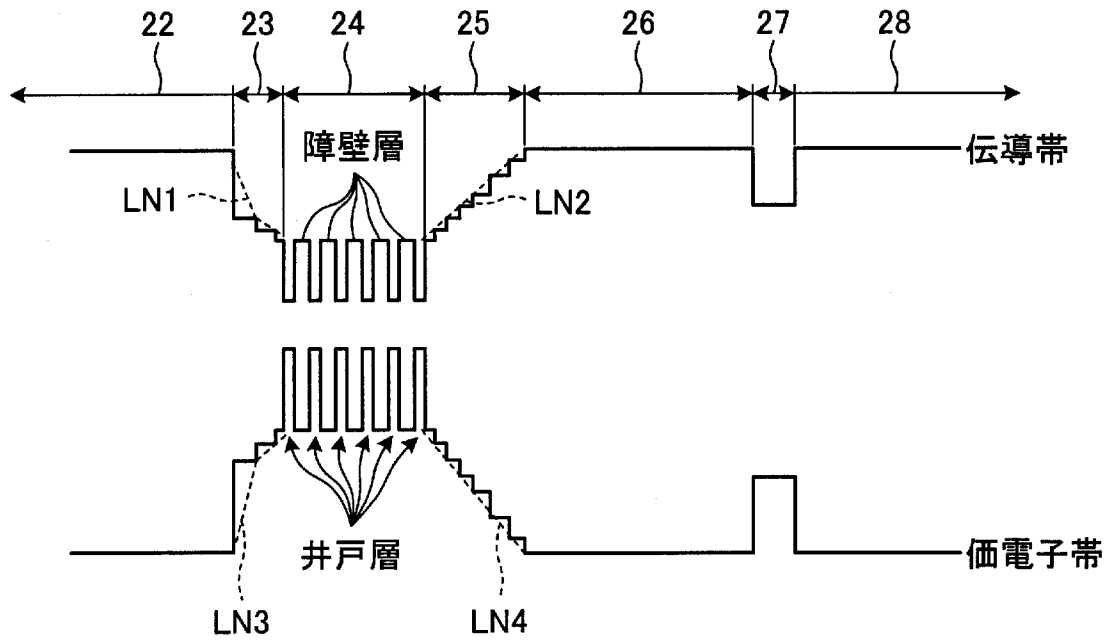
105 サーミスタ
106 コリメータレンズ
107 ビームスプリッタ
108、110 フォトダイオード
109 エタロンフィルタ
111 光アイソレータ
112 集光レンズ
113 光ファイバ
150 半導体レーザモジュール
200 波長可変レーザアセンブリ
201 電子基板
202 制御装置
L d f b 共振器長
LN1、LN2、LN3、LN4 破線
L レーザ光

請求の範囲

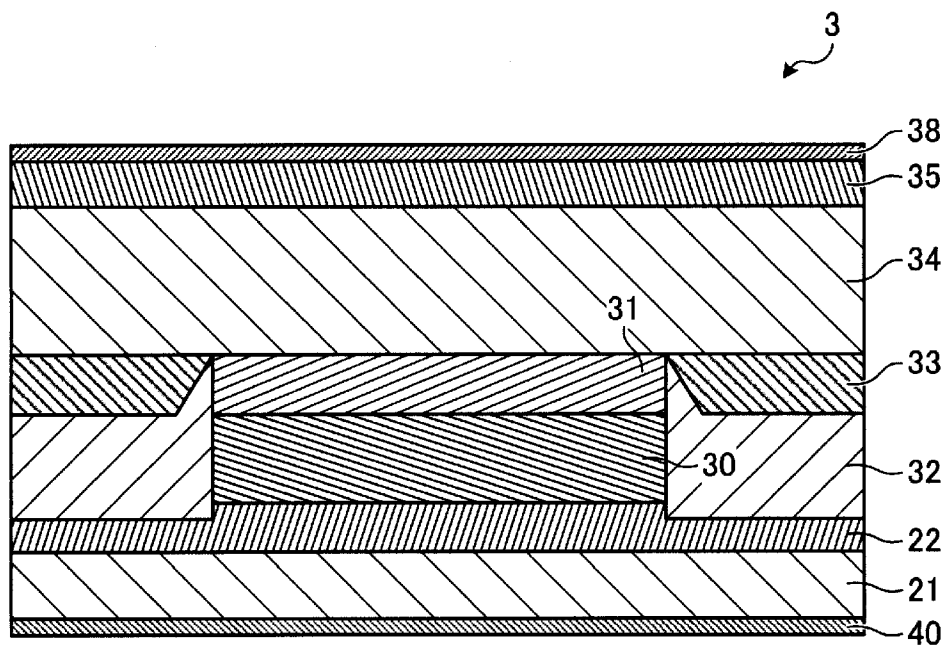
- [請求項1] 互いに異なる発振波長で単一モード発振する複数の半導体レーザを備え、
前記各半導体レーザは、
交互に積層した複数の井戸層と障壁層とを有する多重量子井戸構造を含む活性層と、
該活性層を厚さ方向より挟んで形成され、該活性層の前記障壁層よりもバンドギャップエネルギーの大きなn側分離閉じ込めヘテロ構造層およびp側分離閉じ込めヘテロ構造層とを備え、
前記活性層には、n型不純物がドーピングされていることを特徴とする半導体レーザアレイ。
- [請求項2] 前記n型不純物のドーピング濃度は、 1×10^{17} 以上 3×10^{18} 以下 cm^{-3} であることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザアレイ。
- [請求項3] 前記n型不純物は、S、Se、およびSiのうち、少なくとも1つを含むことを特徴とする請求項1または2に記載の半導体レーザアレイ。
- [請求項4] 前記p側分離閉じ込めヘテロ構造層は、前記n側分離閉じ込めヘテロ構造層よりも厚く、
前記p側分離閉じ込めヘテロ構造層のバンドギャップエネルギーは、前記活性層から離れるにしたがって大きくなるように構成されていることを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の半導体レーザアレイ。
- [請求項5] 前記p側分離閉じ込めヘテロ構造層のバンドギャップエネルギーは、前記活性層から離れるにしたがって直線的に大きくなるように構成されていることを特徴とする請求項4に記載の半導体レーザアレイ。
- [請求項6] 前記各半導体レーザの共振器長が $1200\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項1～5のいずれか一つに記載の半導体レーザアレイ。

- [請求項7] 前記各半導体レーザは、前記各発振波長に対応する周期を有する回折格子を備えることを特徴とする請求項1～6のいずれか一つに記載の半導体レーザアレイ。
- [請求項8] 前記各半導体レーザの前記回折格子の結合係数と前記各半導体レーザの共振器長との積が1.3以上1.7以下であることを特徴とする請求項7に記載の半導体レーザアレイ。
- [請求項9] 請求項1～8に記載の半導体レーザアレイと、
前記複数の前記半導体レーザから出力されたレーザ光を合流させることができる光合流器と、
前記光合流器からの出力光を増幅する半導体光増幅器と、を備え、
前記複数の前記半導体レーザのうち動作させる前記半導体レーザの切り替えおよび前記半導体レーザの温度変化によって前記半導体レーザから出力されるレーザ光の波長を変化させることを特徴とする半導体レーザ素子。
- [請求項10] 請求項9に記載の半導体レーザ素子と、
該半導体レーザ素子が出力するレーザ光を外部へ出射する光ファイバと、
前記半導体レーザ素子が出力するレーザ光を前記光ファイバに結合する光学部品と、
を備えることを特徴とする半導体レーザモジュール。
- [請求項11] 請求項10に記載の半導体レーザモジュールを駆動制御する電子基板上に実装したことを特徴とする波長可変レーザアセンブリ。

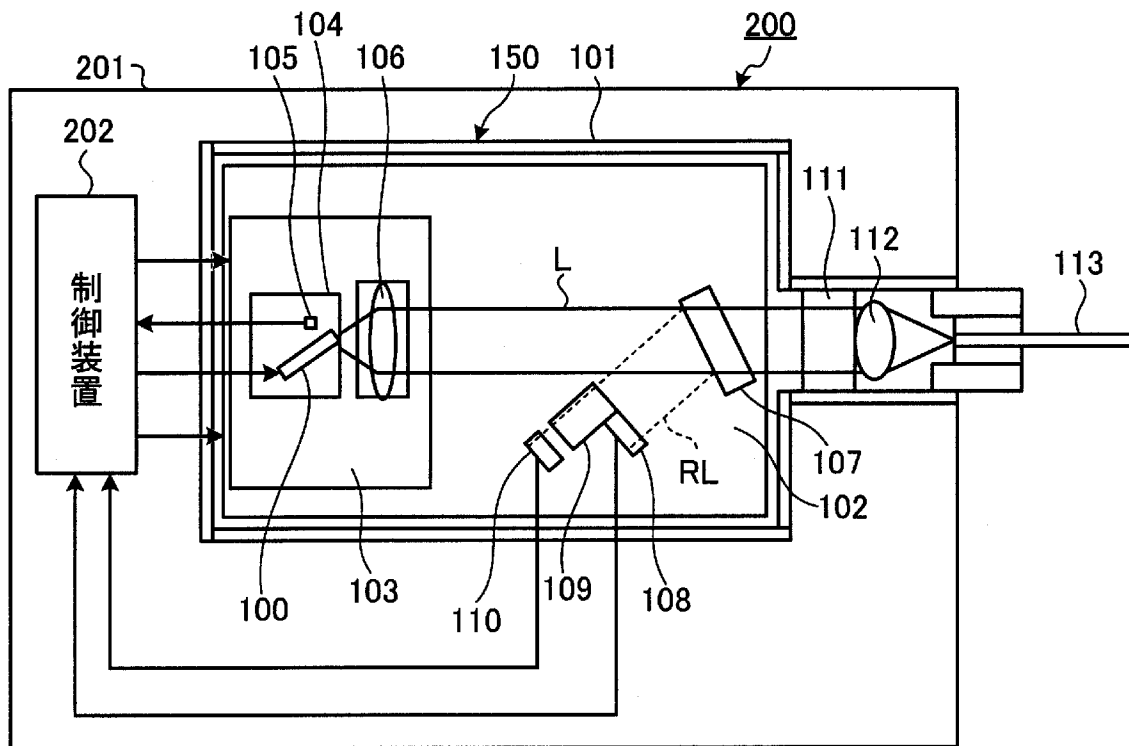
[図3]



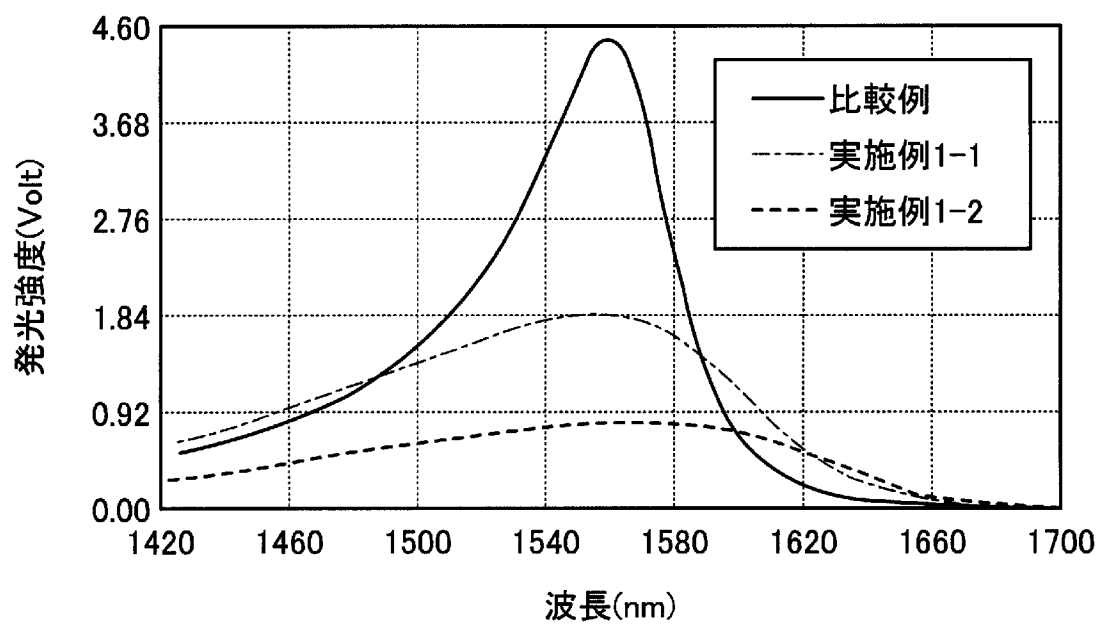
[図4]



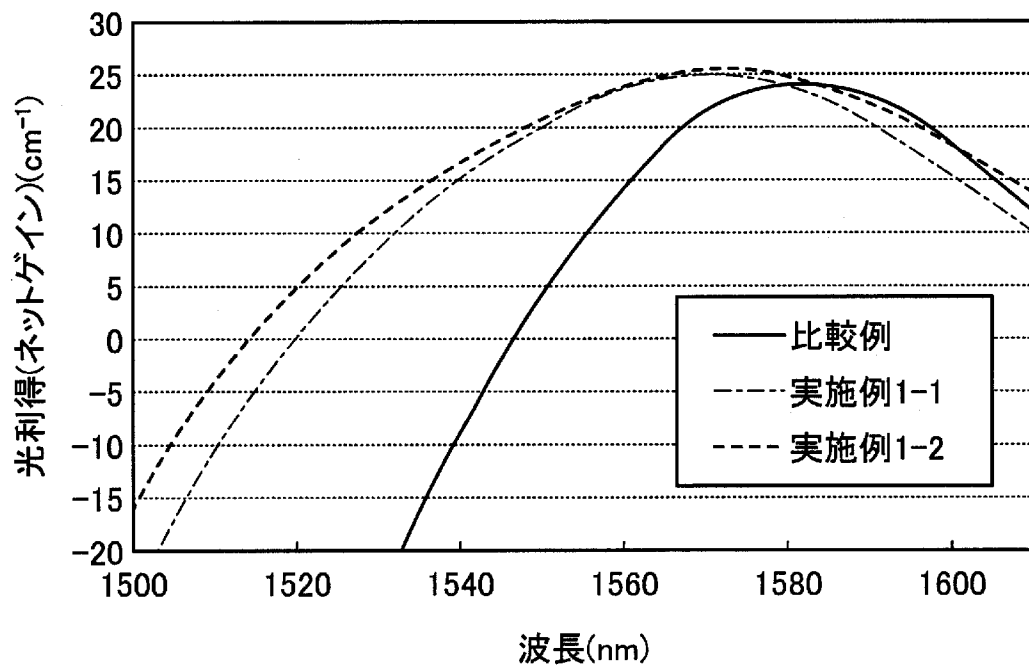
[図5]



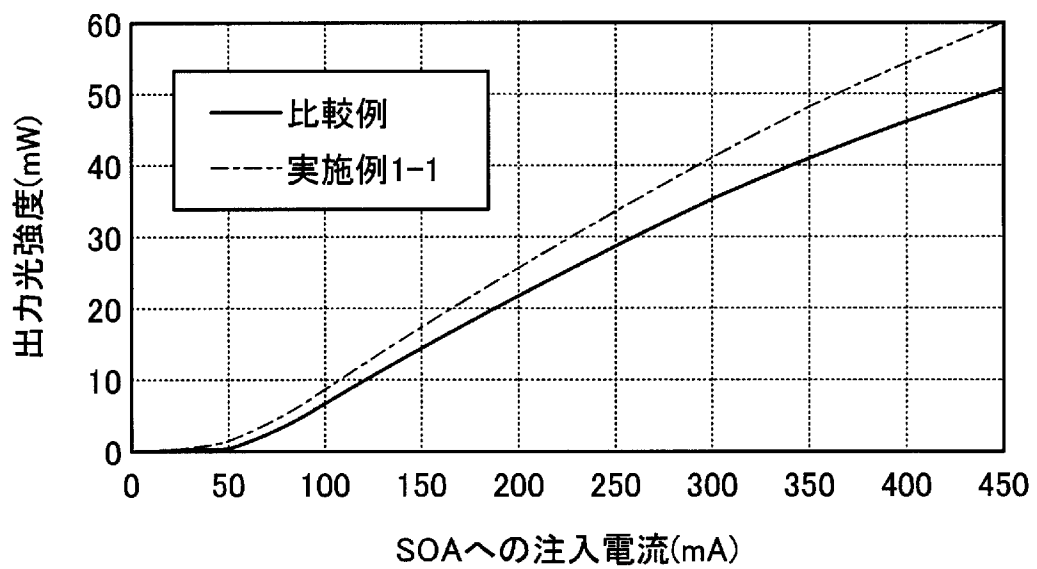
[図6]



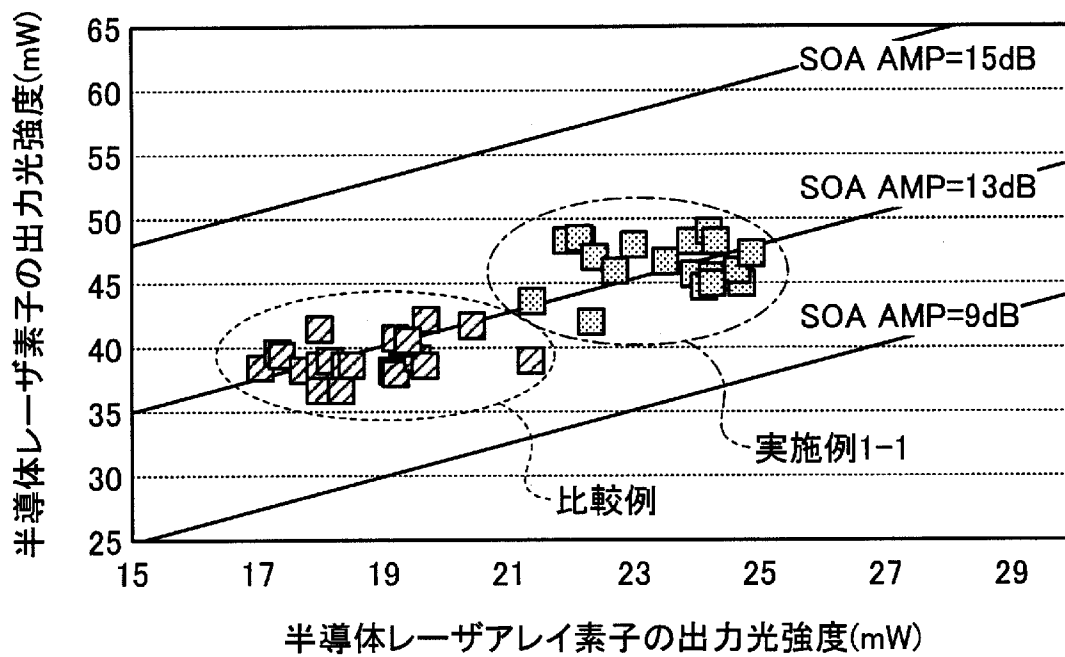
[図7]



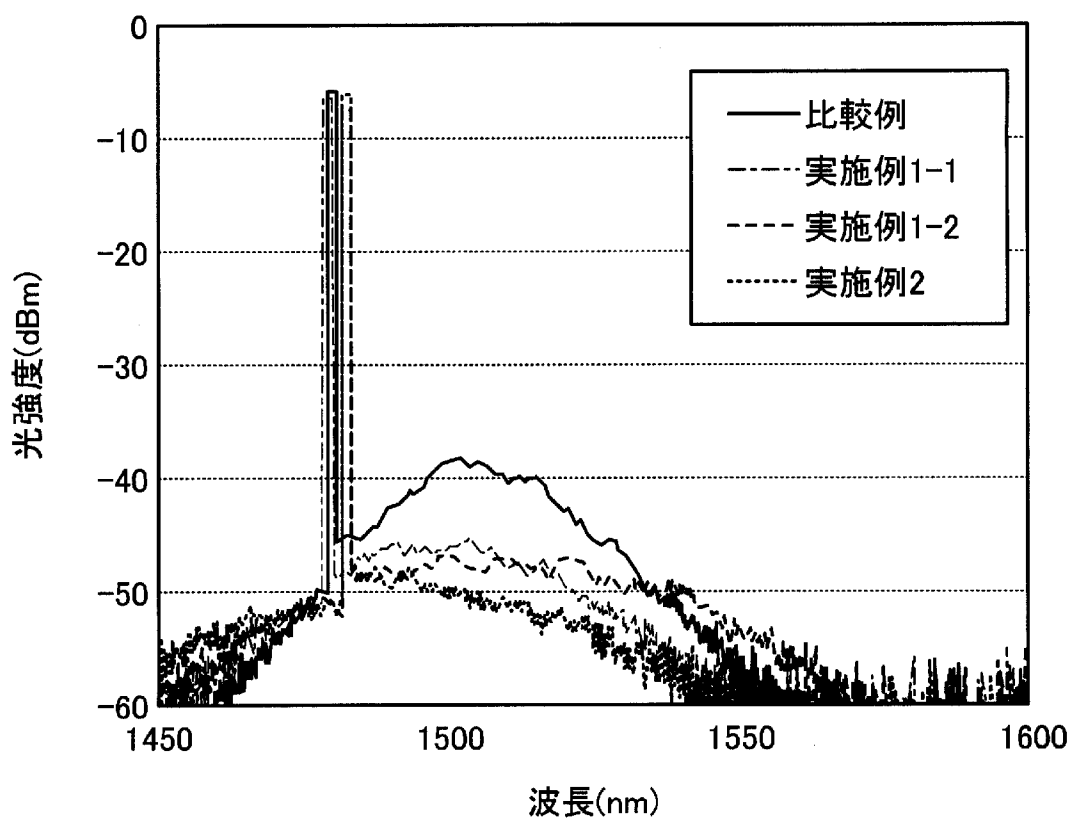
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/084697

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/22(2006.01)i, H01S5/12(2006.01)i, H01S5/20(2006.01)i, H01S5/343(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

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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.
X Y	JP 2001-189529 A (Hitachi, Ltd.), 10 July 2001 (10.07.2001), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0044], [0068] to [0070], [0076], [0083], [0098] to [0100]; fig. 7) & US 2001/0006529 A1	1, 2 3-11
Y	JP 2002-368341 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 20 December 2002 (20.12.2002), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0006], [0017] to [0020], [0022], [0023]) & JP 2002-111135 A & US 2002/0041613 A1 & EP 1193815 A2 & CA 2357974 A1	3-11

☒ 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
20 March 2015 (20.03.15)

Date of mailing of the international search report
31 March 2015 (31.03.15)

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/084697

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 11-340580 A (Fujitsu Ltd.), 10 December 1999 (10.12.1999), entire text; all drawings (particularly, claims 12, 15; paragraphs [0033] to [0037], [0120], [0272], [0273]) & US 6555403 B1 & KR 10-0432762 B1	4-11
Y	JP 2013-102003 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 23 May 2013 (23.05.2013), entire text; all drawings (particularly, claims 3, 4; paragraphs [0003], [0025] to [0028]) & US 2013/0315273 A1 & WO 2013/069483 A1	6-11
A	JP 2005-191349 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 14 July 2005 (14.07.2005), entire text; all drawings (particularly, paragraph [0017]; fig. 2) (Family: none)	1-11
A	JP 2005-039297 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 10 February 2005 (10.02.2005), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0017], [0018], [0020], [0022], [0024], [0035]) (Family: none)	1-11
A	JP 2002-299768 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 11 October 2002 (11.10.2002), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0012], [0022]; fig. 2) (Family: none)	4

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S5/22(2006.01)i, H01S5/12(2006.01)i, H01S5/20(2006.01)i, H01S5/343(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

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 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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
X	JP 2001-189529 A（株式会社日立製作所）2001.07.10, 全文、全図（特に、[0044], [0068]-[0070], [0076], [0083], [0098]	1, 2
Y	-[0100]、図 7) & US 2001/0006529 A1	3-11
Y	JP 2002-368341 A（古河電気工業株式会社）2002.12.20, 全文、全図（特に、[0006], [0017]-[0020], [0022], [0023]） & JP 2002-111135 A & US 2002/0041613 A1 & EP 1193815 A2 & CA 2357974 A1	3-11

☒ 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 0 . 0 3 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

3 1 . 0 3 . 2 0 1 5

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 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

佐藤 秀樹

2 X

3 1 5 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

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 11-340580 A (富士通株式会社) 1999. 12. 10, 全文、全図 (特に、請求項 12, 15、[0033]-[0037], [0120], [0272], [0273]) & US 6555403 B1 & KR 10-0432762 B1	4-11
Y	JP 2013-102003 A (古河電気工業株式会社) 2013. 05. 23, 全文、全図 (特に、請求項 3, 4、[0003], [0025]-[0028]) & US 2013/0315273 A1 & WO 2013/069483 A1	6-11
A	JP 2005-191349 A (古河電気工業株式会社) 2005. 07. 14, 全文、全図 (特に、[0017]、図 2) (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2005-039297 A (古河電気工業株式会社) 2005. 02. 10, 全文、全図 (特に、[0017], [0018], [0020], [0022], [0024], [0035]) (ファミリーなし)	1-11
A	JP 2002-299768 A (松下電器産業株式会社) 2002. 10. 11, 全文、全図 (特に、[0012], [0022]、図 2) (ファミリーなし)	4