

(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
2016年9月1日(01.09.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/136183 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 5/068 (2006.01) H01S 5/12 (2006.01)
H01S 5/026 (2006.01) H01S 5/50 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/000792
- (22) 国際出願日: 2016年2月16日(16.02.2016)
- (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 2015-033309 2015年2月23日(23.02.2015) JP
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社(NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 小林 亘(KOBAYASHI, Wataru); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 伊藤 敏夫(ITO, Toshio); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人 谷・阿部特許事務所(TANI & ABE, P.C.); 〒1070052 東京都港区赤坂2丁目6-2 O 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).

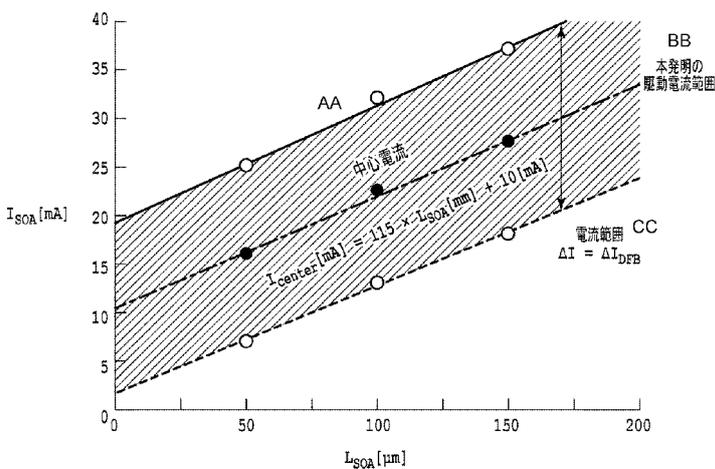
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: ELECTROABSORPTION DISTRIBUTED FEEDBACK LASER WITH INTEGRATED SEMICONDUCTOR OPTICAL AMPLIFIER, AND DRIVING METHOD FOR SAME

(54) 発明の名称: SOA集積EA-DFBレーザ及びその駆動方法

[図8]



AA Center current
 BB Drive current range of the present invention
 CC Current range

(57) Abstract: The present invention provides: an electroabsorption distributed feedback laser (EA-DFB laser) with an integrated semiconductor optical amplifier (SOA), in which the EA-DFB laser is configured so that a distributed feedback laser unit (DFB laser unit), an electroabsorption modulator unit (EA modulator unit), and a semiconductor optical amplifier unit (SOA unit) are monolithically integrated on the same substrate; and a driving method for the EA-DFB laser with an integrated SOA. The present invention is characterized in that in a case where the EA-DFB laser is mounted on an optical transmission module, a reduction amount ΔI_{DFB} is reduced from a permitted maximum current imparted to the DFB laser unit of the EA-DFB laser, and as a result thereof a current I_{SOA} is imparted to the SOA unit within a power consumption range that does not exceed the sum of a power consumption amount that was reduced at the DFB laser unit of the EA-DFB laser with an integrated SOA, and a power consumption amount that was reduced at the EA modulator unit of the EA-DFB laser with an integrated SOA.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/136183 A1

本発明は、DFBレーザ部と、EA変調器部と、SOA部とが同一基板上にモノリシック集積されたSOA集積EA-DFBレーザ及びその駆動方法であって、EA-DFBレーザを光送信モジュールに搭載した場合に許容される前記EA-DFBレーザのDFBレーザ部への最大注入電流から削減量 ΔI_{DFB} を削減することによって前記SOA集積EA-DFBレーザのDFBレーザ部で削減できた消費電力と前記SOA集積EA-DFBレーザのEA変調器部で削減できた消費電力との合計分を超えない消費電力の範囲内で前記SOA部に電流 I_{SOA} を注入することを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：SOA集積EA-DFBレーザ及びその駆動方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体光増幅器 (Semiconductor optical amplifier : SOA) を集積したEA変調器集積DFBレーザ (Electroabsorption Modulator Integrated Distributed Feedback Laser : EA-DFB) 及びその駆動方法に関する。

背景技術

[0002] 光通信の普及に伴い、都市間の中継局を結ぶメトロ系光通信網では、10 Gbit/sから25 Gbit/s、さらには40 Gbit/sといった通信速度の高速化が進んでいる。このメトロ系光通信では、例えば10 Gbit/sの場合、シングルモードファイバ (SMF) 40~80 km伝送の長距離伝送が求められ (求められる伝送距離は、通常、ビットレート (変調速度) の2乗に反比例して減少する)、光送信モジュールの小型化・低消費電力化・低チャープ化が重要な課題となっている。

[0003] 一般に、上記のような高速・長距離伝送を行うために、チャープの小さい外部変調方式が用いられている。なかでも、電界吸収効果を利用した電界吸収型 (EA : Electroabsorption) 変調器は、小型化、低消費電力化、半導体レーザに対する集積性などの観点から優れた特長を持つ。特に、EA変調素子と単一波長性に優れる分布帰還型 (DFB : Distributed Feedback Laser) レーザとを一つの半導体基板上にモノリシックに集積した半導体光集積素子 (EA-DFBレーザ) は、高速・長距離伝送用発光装置として広く用いられている。信号光波長としては光ファイバの伝播損失が小さい1.5 μ m帯もしくはチャープの少ない1.3 μ m帯が主に用いられる。

[0004] EA-DFBレーザを駆動するためには、DFBレーザへの電流 I_{op} の注入、EA変調器へのDCバイアス V_b の印加及びEA変調器への高周波バイアス V_{pp} の印加を必要とする。DCバイアス V_b に負の電圧を印加し、そしてその絶

対値を大きくしていくと、変調光が有するチャープ値 β_c が減少し、長距離伝送においても波形劣化を抑えることができる。

[0005] 図1 A及び図1 Bは、光信号波形と伝送距離との関係についてのチャープ値依存性を示す。図1 Aはチャープ値 $\beta_c = 1$ のときの光波形と伝送距離との関係を示し、図1 Bはチャープ値 $\beta_c = -0.7$ のときの光波形と伝送距離との関係を示す。図1 Aに示されるように、チャープ値 β_c が正值（例えば $\beta_c = 1$ ）である場合は、伝送距離40 km以上の長距離伝送後における光波形が大きく劣化している。それに対して、図1 Bに示されるように、チャープ値 β_c が負値（例えば $\beta_c = -0.7$ ）である場合は、伝送距離40 km以上の長距離伝送後における光波形の劣化を抑えることができている。

[0006] 図1 A及び図1 Bに示されるように、従来のE A-D F Bレーザでは、E A-D F Bレーザから出射される変調光の波形の形状は、チャープングに起因して伝送距離が長距離になるにつれて劣化する。そのため、従来のE A-D F Bレーザでは、光波形の劣化を抑えるためにE A変調器に印加するD Cバイアス V_b に負の電圧を印加し、そしてその絶対値を大きくしチャープ値 β_c を負値にして伝送を行っていた。しかしながら、D Cバイアス V_b の絶対値を大きくすることによりE A変調器の損失が増加し、D F Bレーザから出力される光の光強度が大きく損失してしまう。そのため、従来のE A-D F Bレーザでは、長距離伝送に十分な光強度を得ることが困難であった。

[0007] このように、E A変調器に印加するD Cバイアス V_b は、大きな光出力を得るためにはその絶対値が小さいほうがよく、長距離伝送可能な光波形を得るためにはその絶対値が大きいほうがよいというトレードオフの関係を有する。このトレードオフを打破するために、非特許文献1に、E A変調器の出力端に半導体光増幅器（S O A）を集積する方法が報告されている。非特許文献1に記載の構成においては、E A変調器の出力端に集積されたS O Aに電流注入を行っている。それにより、E A変調器から出力された変調光が有する正のチャープ値がS O Aを伝搬するときにチャープ値変換されて負値チャープとなるため、長距離伝送に適した状態を実現することができる。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2013-258336号公報

非特許文献

[0009] 非特許文献1：Toshio Watanabe, Norio Sakaida, Hiroshi Yasaka, Masafumi Koga, “Chirp Control of an Optical Signal Using Phase Modulation in a Semiconductor Optical Amplifier”, Photonics Technology Letters, 1998年7月, Vol.10, No.7, p.1027-1029.

非特許文献2：H. Yamamoto, M. Hirai, O. Kagaya, K. Nogawa, K. Naoe, N. Sasada, and M. Okayasu, “Compact and Low Power Consumption 1.55- μ m Electro-Absorption Modulator Integrated DFB-LD TOSA for 10-Gbit/s 40-km Transmission,” in proc. OFC, OThT5 (2009).

非特許文献3：Y. Morita, T. Yamatoya, Y. Hokama, K. Akiyama, R. Makita, N. Yasui, D. Morita, H. Kawahara, and E. Ishimura, “1.3- μ m 28 Gb/s EMLs with Hybrid Waveguide Structure for Low-Power-Consumption CFP2 Transceivers,” in proc. OFC, OTh4H.5 (2013).

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] しかしながら、非特許文献1に記載の構成のように、EA変調器の出力端にSOAを単純に集積しただけでは、SMF長距離伝送に対して十分なチャープ変換値を得ることができなかった。また、非特許文献1に記載の構成では、SOAに電流を印加するための制御用端子が別途必要であり、従来のEA-DFBレーザと比較して制御端子数が増加するため消費電力量が増大するという問題があった。

[0011] 特許文献1には、EA-DFBレーザにSOAを集積したSOA集積EA-DFBレーザが示されている。特許文献1に示されるSOA集積EA-DFBレーザでは、従来のEA-DFBレーザの動作制御と比較して制御端子

数の増加を防ぐために、同一端子を用いてDFBレーザ部及びSOA部を制御してそれぞれの電流注入を行っている。それにより、DCバイアス V_b を小さくしても光出力を増大させることが可能である。

[0012] また、特許文献1に示されるSOA集積EA-DFBレーザでは、SOA長の設計を変化させることにより、同一端子を用いて注入した電流量に対してDFBレーザ部及びSOA部にそれぞれ印加する電流量が所望の割合となるように電流量を割り振ることが可能である。このため、非特許文献1に示されるようなSOAが集積されていないEA-DFBレーザと比較して、消費電力が増加することなくSOAに電流注入することができる。さらに、EA変調器に印加するDCバイアス V_b の絶対値を小さくすることができる分、消費電力を削減できることになる。

[0013] しかしながら、特許文献1に示されるSOA集積EA-DFBレーザでは、SOAに注入する電流量が大きすぎると消費電力の増大を招き、SOAに注入する電流量が小さすぎると十分な利得を得ることができない。そのため、実際には、負チャープ値化しつつ従来のEA-DFBレーザと比較して高出力化及び低消費電力化を同時に実現できていなかった。

[0014] このように、従来のSOA集積EA-DFBレーザでは、負チャープ値化しつつ従来のEA-DFBレーザと比較して高出力化及び低消費電力化を同時に実現できていなかった。

課題を解決するための手段

[0015] 上記課題を解決するために、本発明の第1の実施形態に係る駆動方法は、DFBレーザ部と、前記DFBレーザ部の後段に設けられたEA変調器部と、前記EA変調器部の後段に設けられたSOA部とが同一基板上にモノリシック集積されたSOA集積EA-DFBレーザの駆動方法であって、EA-DFBレーザを光送信モジュールに搭載した場合に許容される前記EA-DFBレーザのDFBレーザ部への最大注入電流から削減量 ΔI_{DFB} を削減することによって前記SOA集積EA-DFBレーザのDFBレーザ部で削減できた消費電力と前記SOA集積EA-DFBレーザのEA変調器部で削減でき

た消費電力との合計分を超えない消費電力の範囲内で前記SOA部に電流 I_{SOA} を注入することを特徴とする。

- [0016] 本発明の第2の実施形態に係るSOA集積EA-DFBレーザは、DFBレーザ部とEA変調器部とを含むEA-DFBレーザの出射端にSOA部が集積されたSOA集積EA-DFBレーザであって、EA-DFBレーザを光送信モジュールに搭載した場合に許容される前記EA-DFBレーザのDFBレーザ部への最大注入電流から削減量 ΔI_{DFB} を削減することによって前記SOA集積EA-DFBレーザのDFBレーザ部で削減できた消費電力と前記SOA集積EA-DFBレーザのEA変調器部で削減できた消費電力との合計分を超えない消費電力の範囲内で前記SOA部に電流 I_{SOA} が注入されることを特徴とする。

発明の効果

- [0017] 本発明によると、従来のEA-DFBレーザと比較して、高出力化、低消費電力化及び負チャープ値化を同時に実現することができるSOA集積EA-DFBレーザ及びその駆動方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1A]図1Aは、光信号波形と伝送距離との関係についてのチャープ値依存性を示す図である。
- [図1B]図1Bは、光信号波形と伝送距離との関係についてのチャープ値依存性を示す図である。
- [図2]図2は、本発明において用いられるSOA集積EA-DFBレーザの構成の概略図である。
- [図3A]図3Aは、EA-DFBレーザ及びSOA集積EA-DFBレーザの構造を例示する図である。
- [図3B]図3Bは、EA-DFBレーザ及びSOA集積EA-DFBレーザの構造を例示する図である。
- [図4]図4は、EA-DFBレーザ及びSOA集積EA-DFBレーザにおけるDFBレーザ部への電流注入量-光出力特性の測定結果を示す図である。

[図5]図5は、SOA集積EA-DFBレーザにおけるSOA部の利得計算結果を示す図である。

[図6]図6は、SOA集積EA-DFBレーザにおける各SOA長 L_{SOA} に対する光強度利得の測定結果を示す。

[図7]図7は、SOA集積EA-DFBレーザのSOA部の消費電力の測定結果を示す図である。

[図8]図8は、SOA集積EA-DFBレーザにおいて、各SOA長についてのSOA部13の駆動電流範囲を示す図である。

[図9]図9は、本発明の実施例2に係るSOA集積EA-DFBレーザを説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0019] 図2は、本発明において用いられるSOA集積EA-DFBレーザの構成の概略図である。図2には、DFBレーザ部11と、DFBレーザ部11からの出力光を入力するEA変調器部12と、EA変調器部12において変調されて出力された変調出力光を入力して増幅するSOA部13とが同一基板上にモノリシック集積されたSOA集積EA-DFBレーザが示されている。図3Aは、EA-DFBレーザの構造を例示し、図3Bは本発明で用いられるSOA集積EA-DFBレーザの構造を例示する。以下で説明されるSOAが集積されていないEA-DFBレーザ（以下、単に「EA-DFBレーザ」という）は、SOAが集積されていない点を除いて、SOA集積EA-DFBレーザと同様の特性を有するものとする。

[0020] 本発明に係るSOA集積EA-DFBレーザにおいては、EA-DFBレーザを光送信モジュールに搭載した場合に許容されるDFBレーザ部への最大許容電流（例えば80mA）から、SOA集積EA-DFBレーザのDFBレーザ部11へのDFB注入電流 I_{DFB} を、DFBレーザ部11の閾値電流よりも大きくSMSRが劣化しない範囲の電流（例えば60mA）に削減する。それにより、後述するようにDFBレーザ部11で削減できた消費電力 ΔP_{DFB} 及びEA変調器部12で削減できた消費電力 ΔP_{EA} の合計分を超えない消

費電力の範囲内で高出力化及び低消費電力化を実現できるような電流をSOA部13に注入する。

[0021] 本発明に係るSOA集積EA-DFBレーザにおいては、DFBレーザ部11へのDFB注入電流 I_{DFB} を小さくすることでDFBレーザ部11での消費電力 P_{DFB} も減少・削減される。さらに、EA変調器部12への入力光強度が減少した結果、EA変調器部12に流れるフォトカレントが減少し、EA変調器部12での消費電力 P_{EA} も減少・削減される。また、DFBレーザ部11及びEA変調器部12で削減できた電力分の範囲内でSOA部13に電流注入することによりレーザ全体の光出力を増加させつつも消費電力は増加させないことができる。ここで、DFBレーザ部11の電流削減が大きすぎるとサイドモード抑圧比(SMSR)が劣化するため、できるだけDFBレーザ部11での電流削減は抑えたい。そのため、SOA部13へのSOA注入電流 I_{SOA} はなるべく少ない方が望ましい。

[0022] また、一般に、EA-DFBレーザを搭載した光送信モジュール（すなわち、SOAを有さない、もしくはSOA部への注入電流 I_{SOA} を0とした場合の光送信モジュール）の駆動条件において許容されるDFBレーザ部への注入電流は60～80mAである（例えば特許文献1、非特許文献2及び3参照）。そのため、本発明において用いられるSOA集積EA-DFBレーザの駆動条件においても、注入電流量 $I = I_{DFB} + I_{SOA}$ も60～80mAとする。

[0023] 以下、負チャープ値化を実現しつつ従来構成と比較して高出力化及び低消費電力化を同時に実現することができるSOA集積EA-DFBレーザの駆動方法を説明する。

[0024] 図4は、EA-DFBレーザ及びSOA集積EA-DFBレーザにおけるDFBレーザ部への電流注入量-光出力特性の測定結果を示す。図4では、動作温度は45℃とし、横軸はDFBレーザ部11へのDFB注入電流 I_{DFB} を示す。SOA集積EA-DFBレーザにおいては光導波方向に関するSOA部13のSOA長 $L_{SOA} = 50 \mu m$ とし、 $I_{SOA} = 10 mA$ 、 $25 mA$ とし、EA-DFBレーザはSOAを集積しなかった点を除いて、図4で用いたSOA

集積EA-DFBレーザと同じ構成を有する。

[0025] 一般に、DFBレーザ部の閾値電流を I_{th} 、DFBレーザ部の電流光出力効率（スロープ効率：光出力変化量／電流変化量）を $\eta_{d_{DFB}}$ とすると、ある注入電流 I_{DFB} の時のDFBレーザ部の光出力 P_{DFB} は、以下のように示すことができる。

$$P_{DFB} = (I_{DFB} - I_{th}) \times \eta_{d_{DFB}}$$

[0026] 図4に示すように、EA-DFBレーザにおいて、 I_{DFB} を駆動条件の上限値及び下限値である80mAから60mAへと小さくした場合、光出力は12.1mWから8.9mWに削減し（10.8dBmから9.5dBmに削減し）、光出力は1.3dB減少する。このことは、 I_{DFB} を20mA削減した際のスロープ効率 $\eta_{d_{DFB}} = 0.16$ [W/A] であって、光出力削減量 ΔP_{DFB} が次の式で表すことができることを意味している。

$$\Delta P_{DFB} = \Delta I_{DFB} \times \eta_{d_{DFB}}$$

[0027] 一方で、SOA集積EA-DFBレーザにおいては、 $I_{SOA} = 10$ mAの場合には $I_{DFB} = 60$ mAであっても、EA-DFBレーザにおける $I_{DFB} = 80$ mAの場合に比べて光出力が大きい。すなわち、 $I_{DFB} = 60$ mAの場合、 $I_{SOA} = 10$ mAでは、EA-DFBレーザにおいて I_{DFB} を80mAから60mAへと小さくした場合の光出力減少分である1.3dBを補う分だけの光出力が得ることができている。また、 $I_{SOA} = 25$ mAとした場合には、 $I_{SOA} = 10$ mAとした場合よりもさらに高い光出力を得ることができている。

[0028] 図5は、SOA集積EA-DFBレーザにおけるSOA部13の利得計算結果を示す。図5に示すSOA部13の利得計算は、レート方程式を用いて行い、SOA部13への入力光強度とSOA長 L_{SOA} とSOA注入電流 I_{SOA} との関係を調べた。図5は、SOA長 $L_{SOA} = 50 \mu\text{m}$ 、 $100 \mu\text{m}$ 、 $150 \mu\text{m}$ の場合について、入力光強度とSOA注入電流 I_{SOA} との関係を示す。

[0029] 図5に示されるように、 $L_{SOA} = 50 \mu\text{m}$ の場合、 $I_{SOA} = 10$ mAであっても入力光強度9dBmで約1.3dBの利得が得られる。一方、 $L_{SOA} = 100 \mu\text{m}$ や $150 \mu\text{m}$ の場合、 $I_{SOA} = 10$ mAでは1.3dB以上の利得を得ること

ができない。

[0030] 図6は、SOA集積EA-DFBレーザにおける各SOA長 L_{SOA} に対する光強度利得の測定結果を示す。図6では、横軸はSOAへの電流注入量 I_{SOA} を示し、 $I_{DFB}=60\text{mA}$ であり、各SOA長 $L_{SOA}=50\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$ 、 $150\mu\text{m}$ の場合の光強度利得の測定結果をそれぞれ示している。

[0031] 図6に示されるように、 $L_{SOA}=50\mu\text{m}$ の場合、 $I_{DFB}=60\text{mA}$ であっても、 $I_{SOA}=7\text{mA}$ 以上であれば、1.3dBの利得を得ることができる。同様に、 $L_{SOA}=100\mu\text{m}$ の場合は $I_{SOA}=\text{約}13\text{mA}$ 以上、 $L_{SOA}=150\mu\text{m}$ の場合は $I_{SOA}=\text{約}18\text{mA}$ 以上であれば、1.3dBの利得を得ることができる。

[0032] ここで、各SOA長 L_{SOA} に関して、 $I_{DFB}=60\text{mA}$ であっても、EA-DFBレーザの場合において I_{DFB} を駆動条件の上限値及び下限値である 80mA から 60mA へと小さくした場合の光出力減少分は1.3dBである。1.3dBの利得を得ることができる I_{SOA} を下限値とすれば、従来よりも常に高い利得を得ることができるSOA集積EA-DFBレーザを実現することができる。

[0033] なお、図6に示されるように、SOA長 L_{SOA} が長くなるに従い、同一電流においてSOA内部の電流密度が小さくなるため、1.3dBの利得を得るために必要な電流量が増加する。逆にSOA長 L_{SOA} が短くなると、利得を得るためのSOA内部の体積が減少するため、最大利得は小さくなる。

[0034] 図7は、SOA集積EA-DFBレーザのSOA部13の消費電力の測定結果を示す。図7では、横軸はSOAへの電流注入量 I_{SOA} を示し、各SOA長 $L_{SOA}=50\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$ 、 $150\mu\text{m}$ の場合のSOA部13の消費電力の測定結果をそれぞれ示している。

[0035] EA-DFBレーザの注入電流を 80mA から 60mA に小さくしたことで減少するDFBレーザ部の消費電力とEA変調器部の消費電力の合計は 52mW である。ここで、図7に示されるように、SOA部13の消費電力が 52mW となるのは、SOA長 $L_{SOA}=50\mu\text{m}$ の場合は $I_{SOA}=\text{約}25\text{mA}$ であり、 $L_{SOA}=100\mu\text{m}$ の場合は $I_{SOA}=\text{約}33\text{mA}$ であり、 $L_{SOA}=150\mu\text{m}$ の

場合は $I_{SOA} = \text{約 } 39 \text{ mA}$ である。

[0036] 各SOA長について、消費電力が52mWとなるSOA注入電流 I_{SOA} を上限とすれば、従来よりも常に消費電力が小さいSOA集積EA-DFBレーザを実現することができる。

[0037] 図8は、本発明において用いられるSOA集積EA-DFBレーザにおいて、各SOA長について、負チャープ値化を実現しつつ従来よりも高利得化かつ低消費電力化を同時に実現できるSOA部13の駆動電流範囲を示す。

[0038] 図4乃至図7に示す結果に基づき、レート方程式から、負チャープ値化を実現しつつ従来のEA-DFBレーザと比較して高出力化及び低消費電力化を同時に実現することができるSOA集積EA-DFBレーザのSOA部13の中心駆動電流 I_{center} を求めた。その結果、中心駆動電流 I_{center} は、SOA長 L_{SOA} に比例する線形関数として示すことができ、例えば、 $I_{center} [\text{mA}] = 115 [\text{mA}/\text{mm}] \times L_{SOA} [\text{mm}] + 10 [\text{mA}]$ で示すことができた。

[0039] さらに、上述したように消費電力と光増幅の観点からSOA注入電流 I_{SOA} の上限と下限を規定した場合、予め測定・記録したEA-DFBレーザのDFBレーザ部への最大許容電流からのDFB注入電流 I_{DFB} の削減量を ΔI_{DFB} とすると、SOA注入電流 I_{SOA} の上限及び下限はSOA部13の中心駆動電流 I_{center} の $\pm \Delta I_{DFB} / 2$ として示すことができた。よって、従来よりも高出力化かつ消費電力を実現できるSOA部13の駆動電流範囲 $I_{SOA\text{rng}}$ は、 $I_{SOA\text{rng}} = 115 [\text{mA}/\text{mm}] \times L_{SOA} [\text{mm}] + 10 [\text{mA}] \pm \Delta I_{DFB} / 2 [\text{mA}]$ で表すことができる。例えば、SOA集積によって高出力化及び低消費電力化を実現できる電流範囲 ΔI_{DFB} は $\pm 10 \text{ mA}$ とすることができる。

[0040] このように、本発明に係るSOA集積EA-DFBレーザにおいては、EA-DFBレーザを光送信モジュールに搭載した場合に許容されるDFBレーザ部への最大許容電流を予め測定・記録しておき、当該最大許容電流と、SOA集積EA-DFBレーザのDFBレーザ部11へのDFB注入電流 I_{DFB} との差分から削減量 ΔI_{DFB} を算出する。DFB注入電流削減により、DFBレーザ部11で削減できた消費電力 ΔP_{DFB} 及びEA変調器部12で削減できた消

費電力 ΔP_{EA} の合計分を超えない範囲内の電力消費で且つ高出力化を実現できるように、駆動電流範囲 I_{SOArng} は、 $I_{SOArng} [mA] = 115 [mA/mm] \times L_{SOA} [mm] + 10 [mA] \pm \Delta I_{DFB} / 2 [mA]$ の範囲内のSOA注入電流 I_{SOA} をSOA部13に注入する。それにより、負チャープ値化を実現しつつ従来よりも光強度の増大及び低消費電力化を同時に実現することができる。

[0041] ここで、光導波方向に関するSOA部13のSOA長を $50 \mu m$ 以上 $150 \mu m$ 以下の範囲に設定することにより、DFBレーザ部及びSOA部それぞれに供給される電流量について、DFBレーザ部及びSOA部のそれぞれの駆動条件を満たすことができるとともに、負チャープ値の実現やDFBレーザ部及びSOA部の消費電力の増加をさらに防ぐことが可能となる。従って、SOA部13のSOA長 L_{SOA} を $50 \mu m$ 以上 $150 \mu m$ 以下の範囲に設定することが好ましい。

[0042] (実施例1)

表1を用いて、本発明の実施例1に係るSOA集積EA-DFBレーザを説明する。表1は、EA-DFBレーザの駆動電流を $80 mA$ とし、SOA集積EA-DFBレーザにおいてはDFBレーザ部12への注入電流 I_{DFB} を $60 mA$ とし、SOA長 L_{SOA} は $50 \mu m$ とし、動作温度は $45^\circ C$ とし、SOA部13への注入電流 I_{SOA} を $10 mA$ 又は $25 mA$ で駆動した場合のEA-DFBレーザ及びSOA集積EA-DFBレーザの特性を示している。表1において、 P_{avg} は光強度を示し、DERは動的消光比を示し、OMAは光変調強度を示し、 f_{3dB} は $3 dB$ 帯域のカットオフ周波数を示し、 P は消費電力を示す。

[0043] [表1]

	EA-DFBレーザ	SOA集積EA-DFBレーザ	
$I_{DFB} [mA]$	80	60	
$I_{SOA} [mA]$	—	10	25
$P_{avg} [dBm]$	3.6	5.3	5.6
DER [dB]	8.1	8.0	8.1
OMA [dBm]	5.3	6.9	7.3
$f_{3dB} [GHz]$	36	36	36
P [W]	0.175	0.139	0.174

[0044] 表1に示されるように、 $I_{SOA} = 10\text{ mA}$ 、 25 mA の場合、EA-DFBレーザ単体の時に比べSOA集積EA-DFBレーザの光強度 P_{avg} を増加させつつ、消費電力 P を削減することを実現できているとともに、DER及びOMAもSOA集積EA-DFBレーザとして動作可能な程度に良好な数値が得られている。 $I_{SOA} = 10\text{ mA}$ 、 25 mA は、SOA部13の駆動電流範囲 $I_{SOA_{rng}} = 115\text{ [mA/mm]} \times 0.05\text{ [mm]} + 10\text{ [mA]} \pm 10\text{ [mA]} = 15.75 \pm 10\text{ [mA]}$ の範囲内であるため、本発明の駆動方法により光強度の増大、低消費電力化及び負チャープ値化を同時に実現できることが確認された。

[0045] (実施例2)

図9を用いて、本発明の実施例2に係るSOA集積EA-DFBレーザを説明する。図9には、DFBレーザ部11と、DFBレーザ部11からの出力光を入力するEA変調器部12と、EA変調器部12において変調された出力された変調出力光を入力して増幅するSOA部13とが同一基板上にモノリシック集積されたSOA集積EA-DFBレーザが示されている。図9に示されるように、DFBレーザ部11及びSOA部13は、同一の制御端子14を用いて制御される。本実施例に係るSOA集積EA-DFBレーザの作製工程は、例えば特許文献1に示されている。

[0046] 本実施例では、光導波方向に関するSOA部13の長さを $50\text{ }\mu\text{m}$ とし、光導波方向に関するDFBレーザ部11の長さを $300\text{ }\mu\text{m}$ としている。SOA部13とDFBレーザ部11の長さの比が $1:6$ としていることから、素子の抵抗はおよそ $6:1$ となる。そのため、本実施例では、同一の制御端子14から電流 $I = 70\text{ mA}$ 注入した結果、SOA部13には 10 mA 、DFBレーザ部11には 60 mA 注入されている。

[0047] このように、本実施例2によると、DFBレーザ部11及びSOA部13は、同一の制御端子14を用いて制御する場合においても、高出力化かつ消費電力を実現できる本発明に係るSOA部13の駆動電流範囲 $I_{SOA_{rng}}$ を満たすようにSOA部13とDFBレーザ部11の長さの比を調整することにより

、光強度の増大、低消費電力化及び負チャープ値化を同時に実現することができる。

[0048] 以上、本発明に係るSOA集積EA-DFBレーザ及びその駆動方法について説明したが、これに限定されず、例えばレート方程式を用いずに、図5に示す結果と同様の結果が得られるのであれば他の計算方法によりSOA部13の利得計算をしてもよい。

請求の範囲

[請求項1] DFBレーザ部と、前記DFBレーザ部の後段に設けられたEA変調器部と、前記EA変調器部の後段に設けられたSOA部とが同一基板上にモノリシック集積されたSOA集積EA-DFBレーザの駆動方法であって、

EA-DFBレーザを光送信モジュールに搭載した場合に許容される前記EA-DFBレーザのDFBレーザ部への最大注入電流から削減量 ΔI_{DFB} を削減することによって前記SOA集積EA-DFBレーザのDFBレーザ部で削減できた消費電力と前記SOA集積EA-DFBレーザのEA変調器部で削減できた消費電力との合計分を超えない消費電力の範囲内で前記SOA部に電流 I_{SOA} を注入することを特徴とする駆動方法。

[請求項2] 前記SOA部の光導波方向に関する長さを L_{SOA} とすると、前記SOA部に $I_{SOA} = 115 \text{ [mA/mm]} \times L_{SOA} \text{ [mm]} + 10 \text{ [mA]} \pm \Delta I_{DFB} / 2 \text{ [mA]}$ の範囲内で電流を注入して駆動することを特徴とする請求項1に記載の駆動方法。

[請求項3] 前記SOA集積EA-DFBレーザのDFBレーザ部及びSOA部は同一の制御端子から電流を注入され、

$I_{SOA} = 115 \text{ [mA/mm]} \times L_{SOA} \text{ [mm]} + 10 \text{ [mA]} \pm \Delta I_{DFB} / 2 \text{ [mA]}$ を満たすように前記SOA集積EA-DFBレーザのDFBレーザ部及びSOA部の光導波方向に関する長さが設計されていることを特徴とする請求項1に記載の駆動方法。

[請求項4] 前記SOA部の光導波方向に関する長さは、 $50 \mu\text{m}$ 以上 $150 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1に記載の駆動方法。

[請求項5] DFBレーザ部とEA変調器部とを含むEA-DFBレーザの出射端にSOA部が集積されたSOA集積EA-DFBレーザであって、

EA-DFBレーザを光送信モジュールに搭載した場合に許容される前記EA-DFBレーザのDFBレーザ部への最大注入電流から削

減量 ΔI_{DFB} を削減することによって前記SOA集積EA-DFBレーザのDFBレーザ部で削減できた消費電力と前記SOA集積EA-DFBレーザのEA変調器部で削減できた消費電力との合計分を超えない消費電力の範囲内で前記SOA部に電流 I_{SOA} が注入されることを特徴とするSOA集積EA-DFBレーザ。

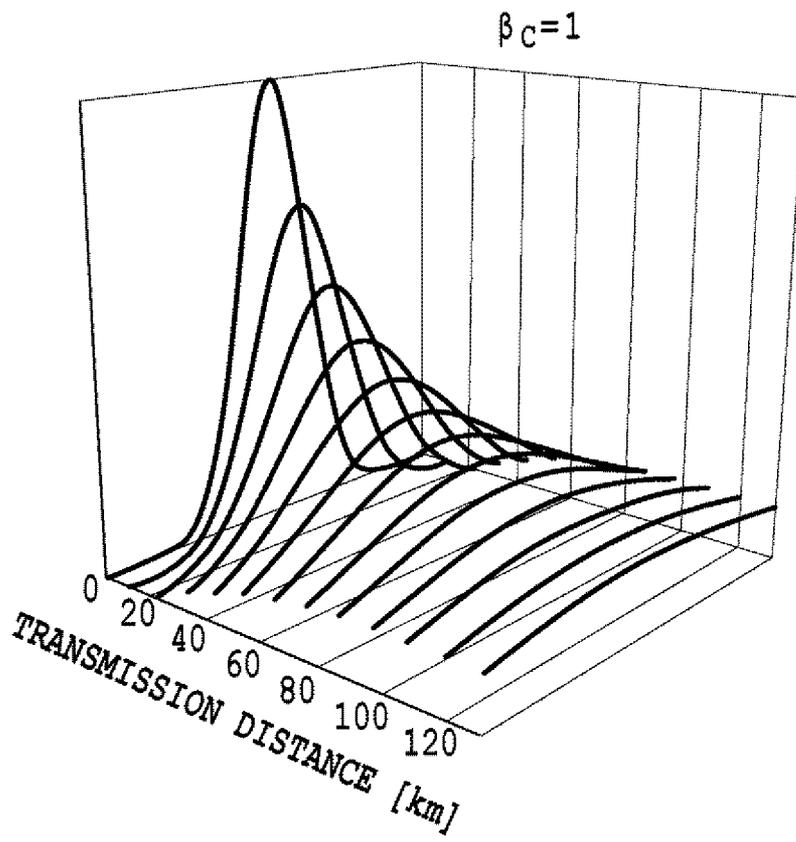
[請求項6] 前記SOA部の光導波方向に関する長さを L_{SOA} とすると、前記SOA部に $I_{SOA} = 115 \text{ [mA/mm]} \times L_{SOA} \text{ [mm]} + 10 \text{ [mA]} \pm \Delta I_{DFB} / 2 \text{ [mA]}$ の範囲内で電流が注入されることを特徴とする請求項5に記載のSOA集積EA-DFBレーザ。

[請求項7] 前記SOA集積EA-DFBレーザのDFBレーザ部及びSOA部は同一の制御端子から電流を注入され、

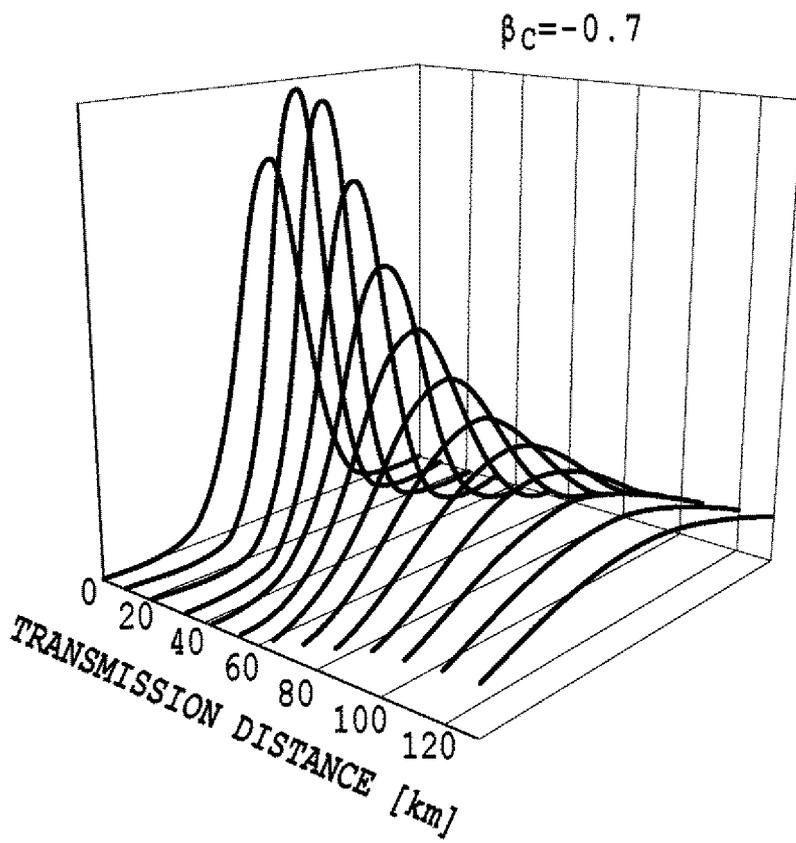
$I_{SOA} = 115 \text{ [mA/mm]} \times L_{SOA} \text{ [mm]} + 10 \text{ [mA]} \pm \Delta I_{DFB} / 2 \text{ [mA]}$ を満たすように前記SOA集積EA-DFBレーザのDFBレーザ部及びSOA部の光導波方向に関する長さが設計されていることを特徴とする請求項5に記載のSOA集積EA-DFBレーザ。

[請求項8] 前記SOA部の光導波方向に関する長さは、 $50 \mu\text{m}$ 以上 $150 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項5のSOA集積EA-DFBレーザ。

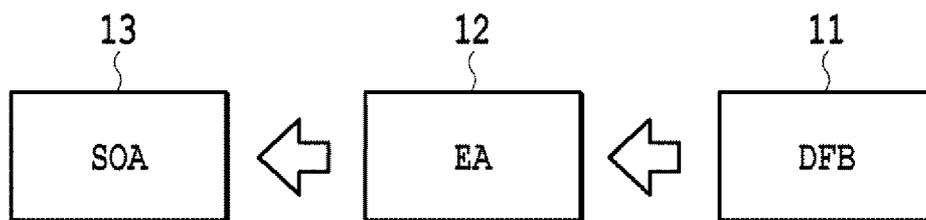
[図1A]



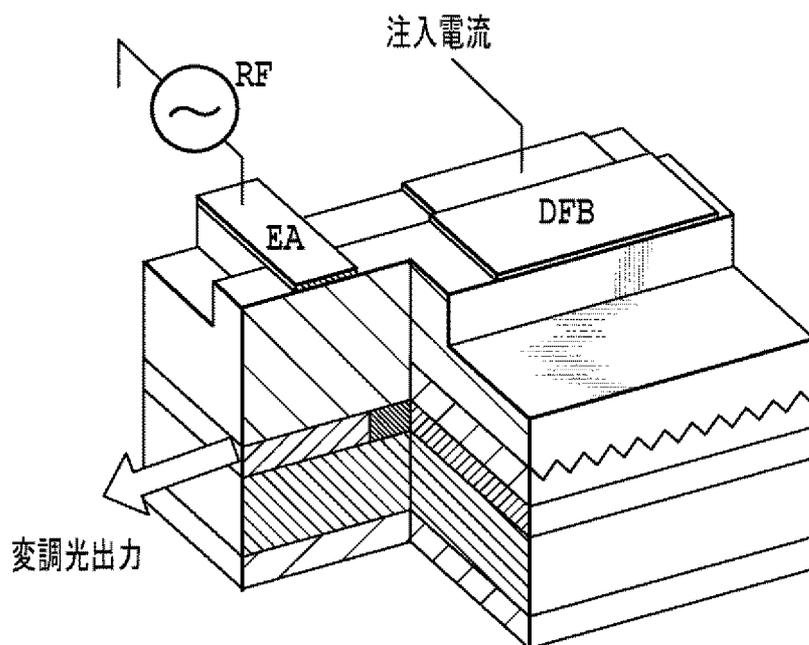
[図1B]



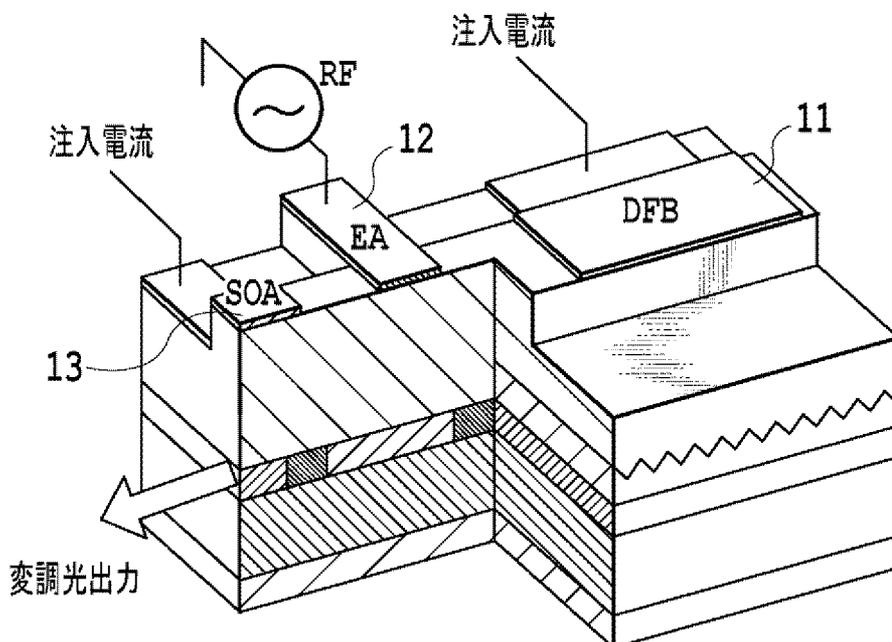
[図2]



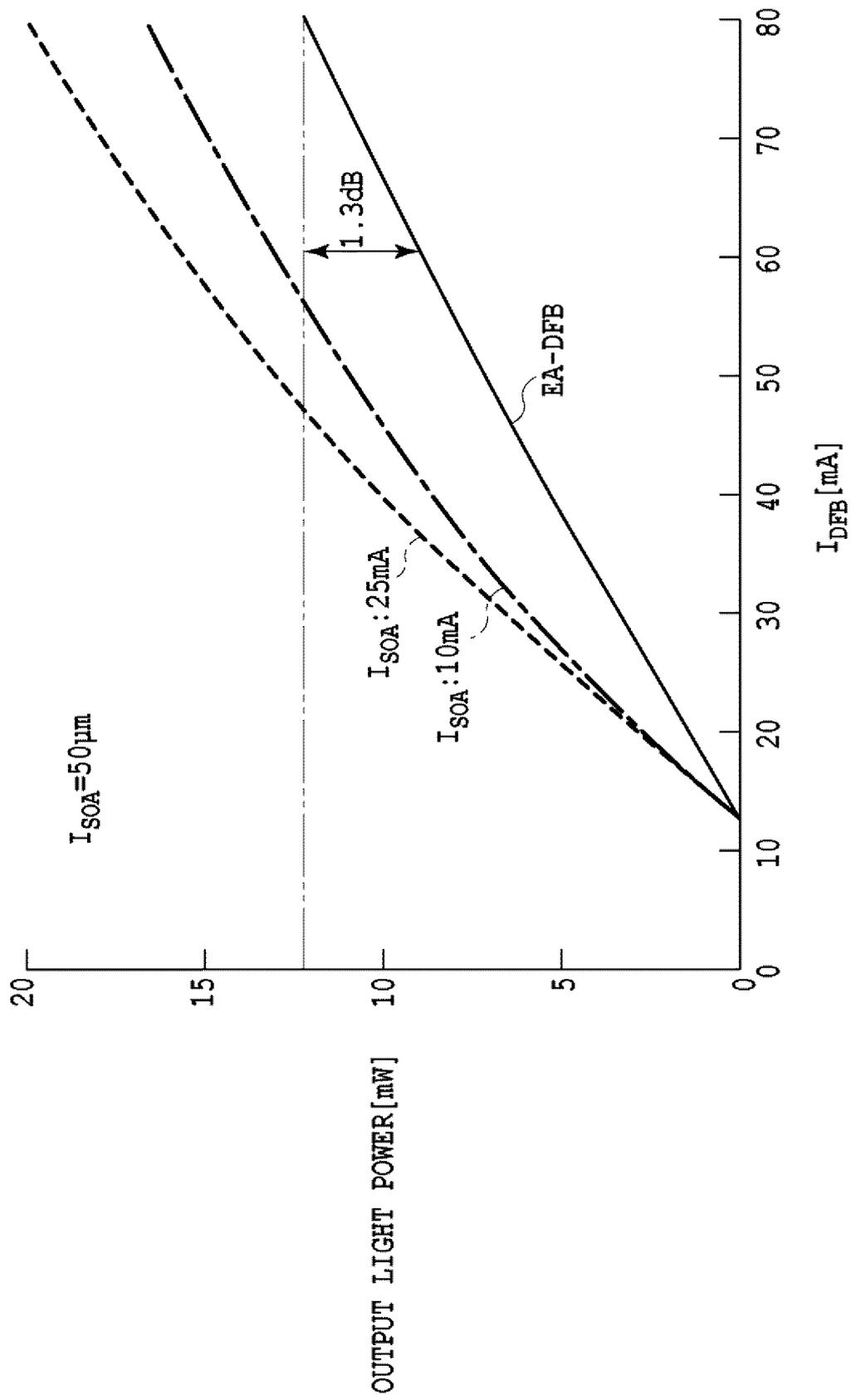
[図3A]



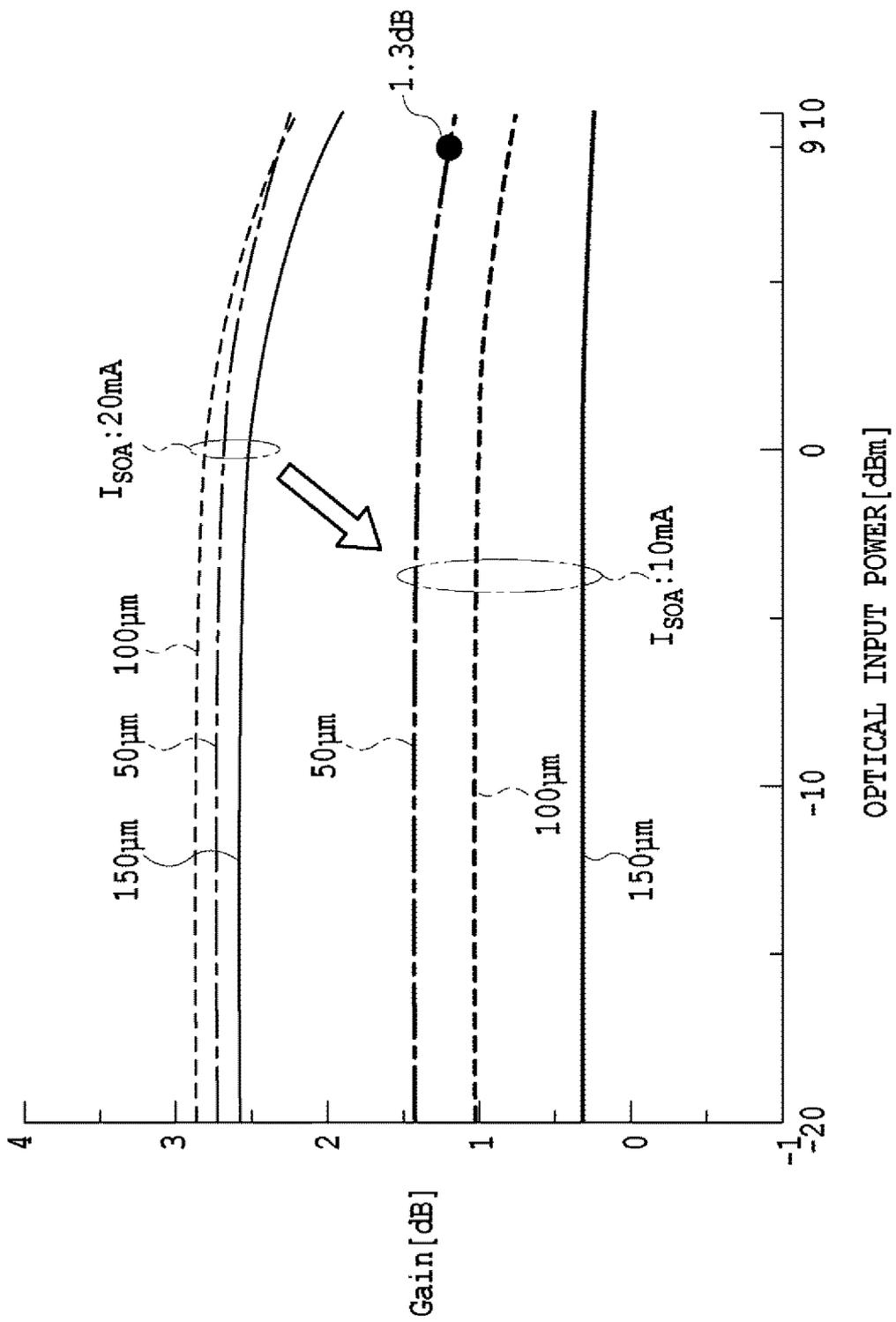
[図3B]



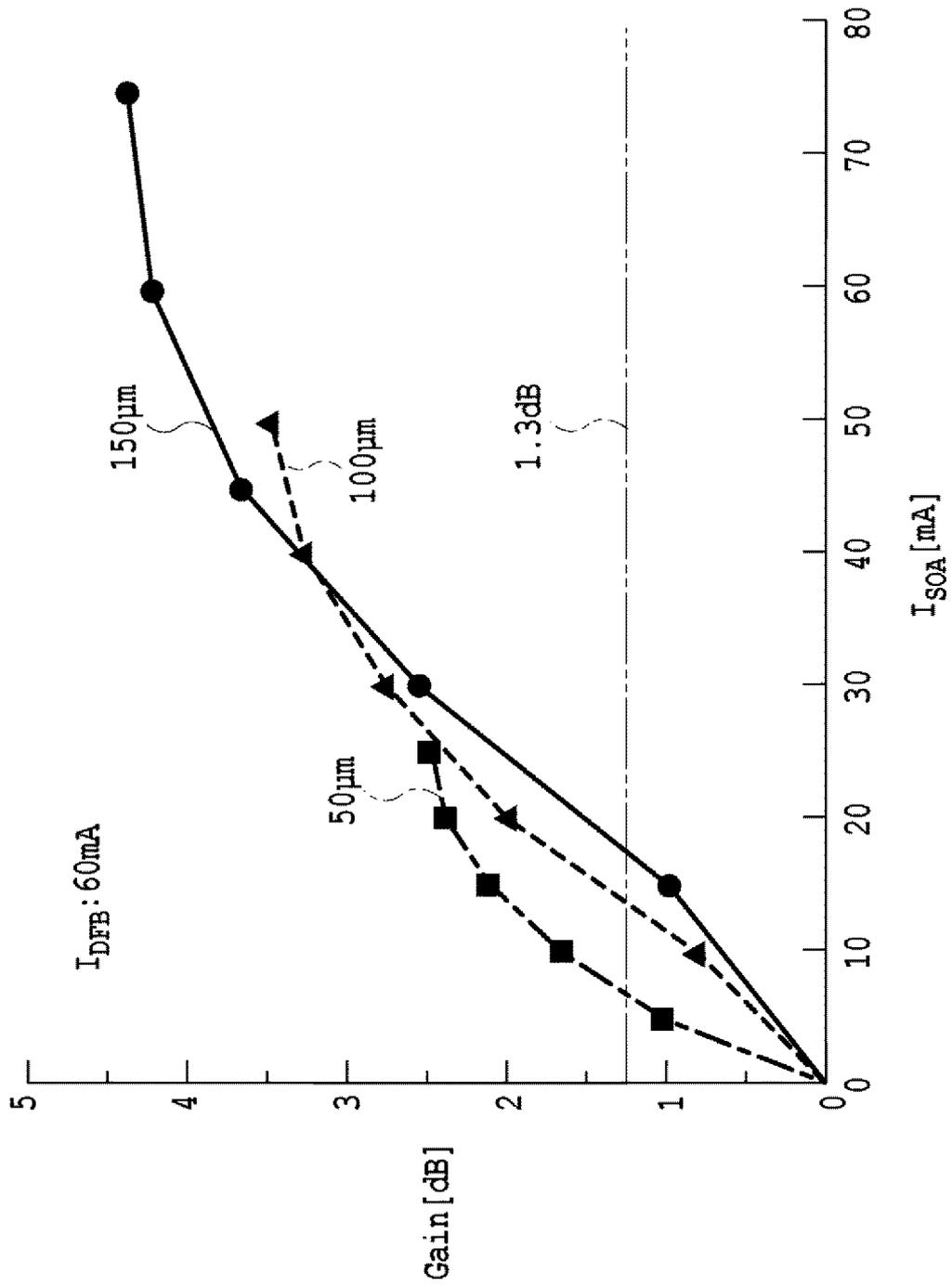
[図4]



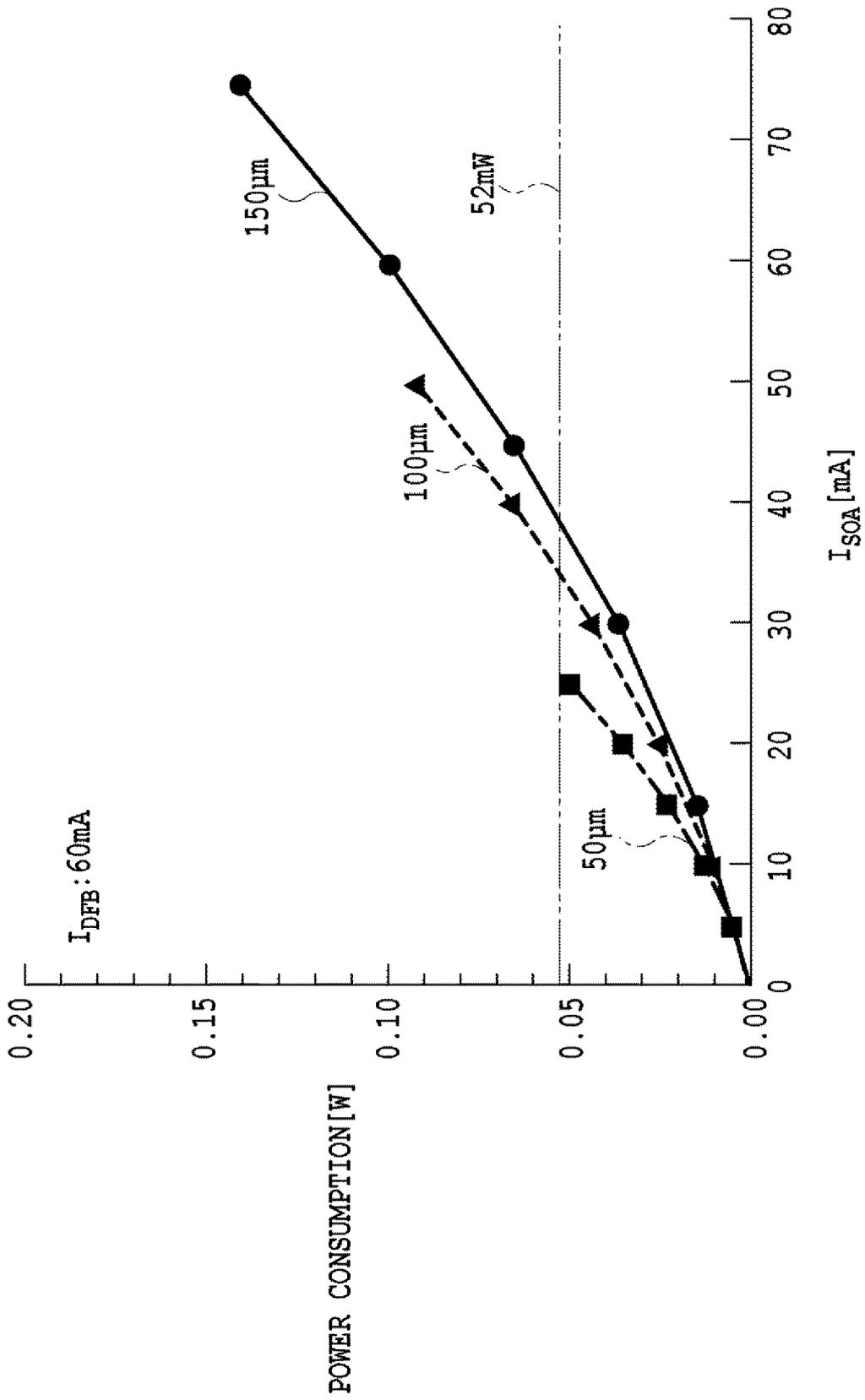
[図5]



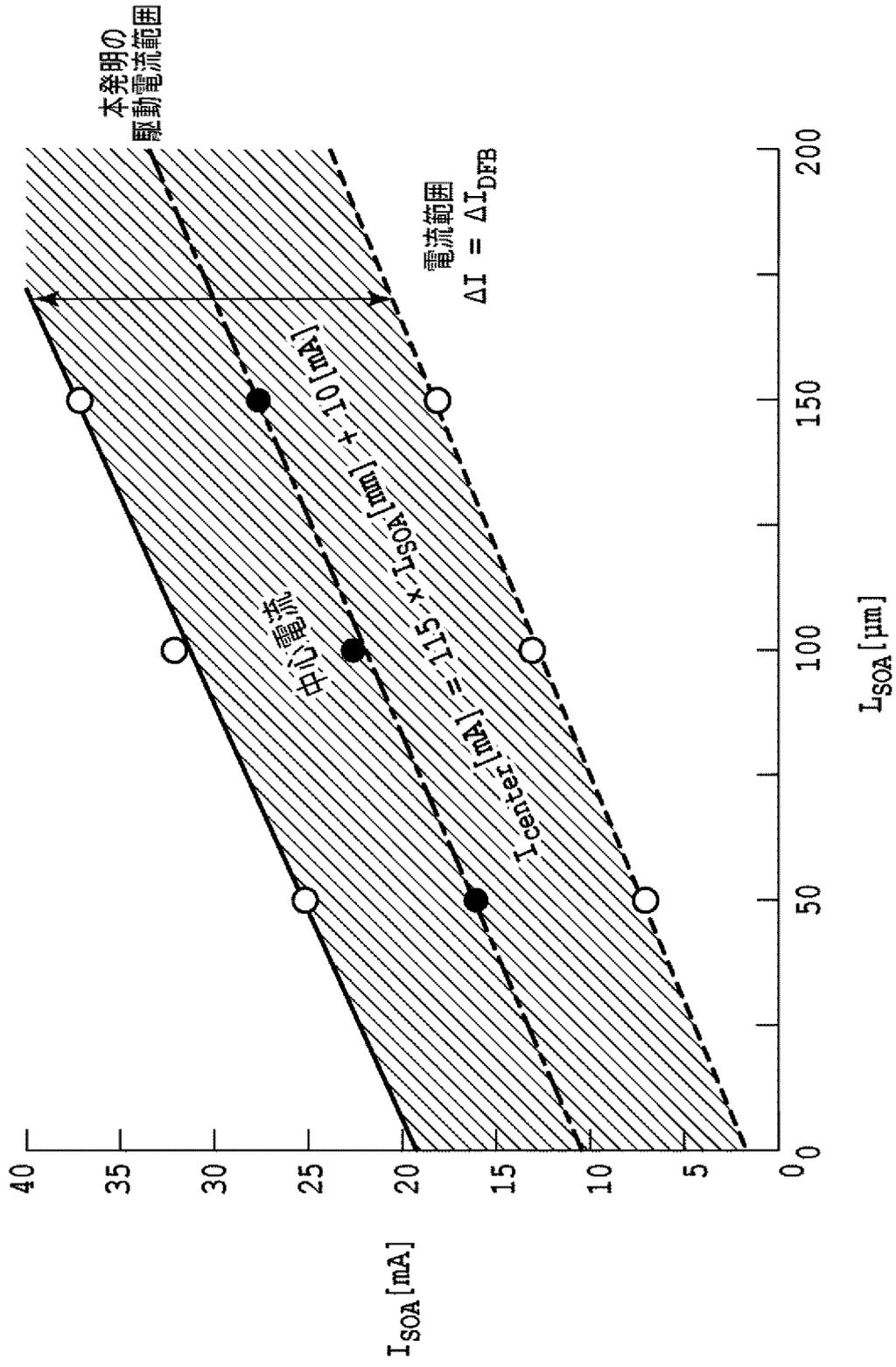
[図6]



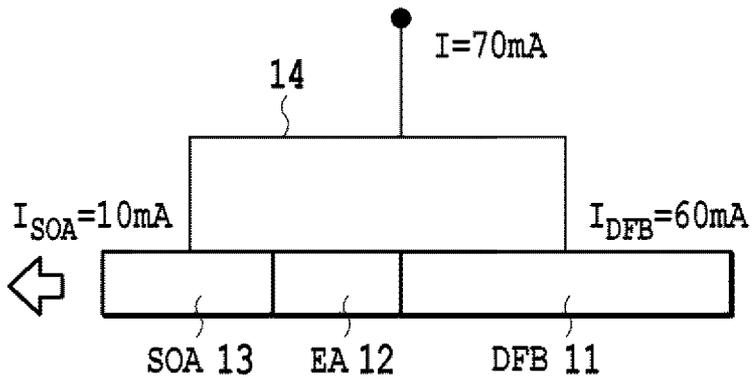
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/000792

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S5/068(2006.01)i, H01S5/026(2006.01)i, H01S5/12(2006.01)i, H01S5/50(2006.01)i
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 H01S5/00-5/50, G02F1/00-1/125, G02B6/12-6/14, G02B6/42

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2013-258336 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 26 December 2013 (26.12.2013), paragraphs [0010] to [0039]; fig. 1 to 7 (Family: none)	1-8
A	JP 5-291694 A (Hitachi, Ltd.), 05 November 1993 (05.11.1993), paragraphs [0008] to [0012]; fig. 1 to 7 (Family: none)	1-8
A	JP 6-181366 A (Fujitsu Ltd.), 28 June 1994 (28.06.1994), paragraphs [0049] to [0053]; fig. 7 (Family: none)	1-8

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 20 April 2016 (20.04.16)	Date of mailing of the international search report 10 May 2016 (10.05.16)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/000792

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-258337 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 26 December 2013 (26.12.2013), paragraphs [0021] to [0038]; fig. 1 to 8 (Family: none)	1-8
A	US 2005/0006654 A1 (KANG et al.), 13 January 2005 (13.01.2005), paragraphs [0022] to [0050]; fig. 3 to 8 (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S5/068(2006.01)i, H01S5/026(2006.01)i, H01S5/12(2006.01)i, H01S5/50(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S5/00-5/50, G02F1/00-1/125, G02B6/12-6/14, G02B6/42

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

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

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2013-258336 A (日本電信電話株式会社) 2013. 12. 26, 段落[0010]-[0039], 図 1-7 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 5-291694 A (株式会社日立製作所) 1993. 11. 05, 段落[0008]-[0012], 図 1-7 (ファミリーなし)	1-8

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

20.04.2016

国際調査報告の発送日

10.05.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

百瀬 正之
電話番号 03-3581-1101 内線 3255

2K

4084

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
A	JP 6-181366 A (富士通株式会社) 1994.06.28, 段落[0049]-[0053], 図7 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2013-258337 A (日本電信電話株式会社) 2013.12.26, 段落[0021]-[0038], 図1-8 (ファミリーなし)	1-8
A	US 2005/0006654 A1 (KANG et al.) 2005.01.13, 段落[0022]-[0050], FIG. 3-8 (ファミリーなし)	1-8