(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
2025年1月16日(16.01.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/013119 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/125 (2006.01) *G02B 6/124* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/025251

(22) 国際出願日： 2023年7月7日(07.07.2023)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人:三菱電機株式会社(**MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 望 月 敬 太 (**MOCHIZUKI Keita**); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

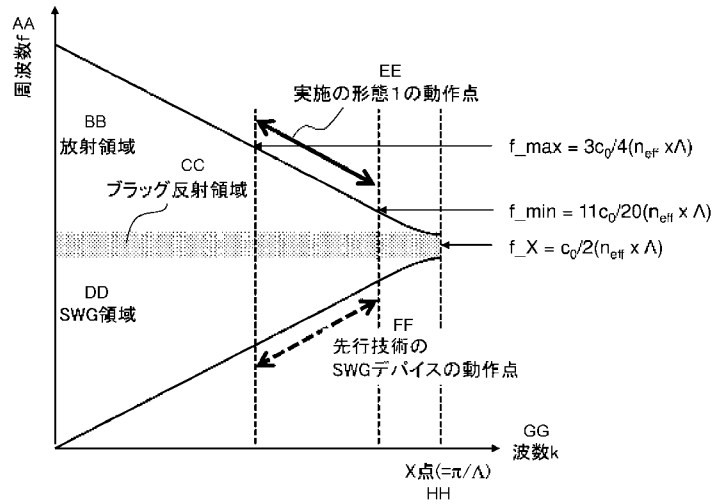
(74) 代理人:弁理士法人ぱるも特許事務所(**PALMO PATENT FIRM, P.C.**); 〒6610033 兵庫県尼崎市南武庫之荘３丁目３５番８号 Hyogo (JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,

(54) **Title:** OPTICAL DEVICE

(54) 発明の名称： 光デバイス

図3



AA Frequency f
BB Radiation region
CC Bragg reflection region
DD SWG region
EE Operating point of embodiment 1
FF Operating point of SWG device of prior art
GG Wave number k
HH X point

(57) **Abstract:** This optical device comprises a first optical waveguide (11) and a second waveguide (21) disposed side by side on a substrate (1), the optical device having an optical coupling region (C) in which the interval between the first optical waveguide (11) and the second waveguide (21) is narrower than that in another region so that light is coupled between the first optical waveguide (11) and the second waveguide (21), wherein, in the optical coupling region (C), the optical device has a grating structure (3) in which are alternately disposed at a

WO 2025/013119 A1

［続葉有］

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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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:

一　国際調査報告(条約第21条(3))

cycle Λ in the light propagation direction, a first refractive index material (31) and a second refractive index material (6) having a lower refractive index than the first refractive index material (31), in the periphery of the first optical waveguide (11) and the second waveguide (21), and when the speed of light in a vacuum is c_0, the frequency of the light is f, and the effective refractive index corresponding to the waveguide mode in the optical coupling region (C) is n_{eff}, the cycle Λ is made to satisfy the formula $11c_0/(20n_{eff}\cdot f) \leq \Lambda \leq 3c_0/(4n_{eff}\cdot f)$.

(57) 要約:基板(１)上に並んで配置された第一光導波路(１１)と第二光導波路(２１)を備え、第一光導波路(１１)と第二光導波路(２１)の間で光が結合するように他の領域よりも第一光導波路(１１)と第二光導波路(２１)との間隔が狭い光結合領域(Ｃ)を有する光デバイスであって、光結合領域(Ｃ)において、第一光導波路(１１)と第二光導波路(２１)との周囲に、光の伝搬方向に、第一屈折率材料(３１)と、第一屈折率材料(３１)よりも屈折率が低い第二屈折率材料(６)が周期Λで交互に配置されたグレーティング構造(３)を有し、真空中の光速をc_0、光の周波数をｆ、光結合領域(Ｃ)における導波モードに対応する実効屈折率をn_{eff}とすると、周期Λが、$11c_0/(20n_{eff}\cdot f) \leqq \Lambda \leqq 3c_0/(4n_{eff}\cdot f)$を満足するようにした。

明　細　書

発明の名称 ： 光デバイス

技術分野

[0001] 本開示は、光デバイスに関するものである。

背景技術

[0002] シリコン（Ｓｉ）、リン化インジウム（ＩｎＰ）、ヒ化ガリウム（ＧａＡｓ）、窒化ガリウム（ＧａＮ）、ニオブ酸リチウム（ＬｉＮｂO_3）、およびそれらを基礎とする化合物半導体などの様々な材料による光デバイスにおいて、周囲よりも屈折率を高くすることで光を局所的な領域に閉じ込め、その領域を線状に形成することで、光を所望の領域に伝搬させることができる光導波路はデバイスの基本的な構成要素として広く用いられている。

[0003] また、２つの独立する光導波路を伝搬光の波長以下の距離に近接させることで、２つの導波路の光伝搬モードが光学的に結合し、その結果、伝搬光の任意の電力を移行させる機能をもつ方向性結合器、あるいは幅広な導波路を形成して内部を伝搬する光の固有モードをマルチモード化させ、各モード間の光干渉によって伝搬光を任意の数に分波、または逆に合波させる機能をもつ多モード干渉導波路（Ｍｕｌｔｉ－Ｍｏｄｅ　Ｉｎｔｅｒｆｅｒｅｎｃｅ、ＭＭＩ）、入力された光を偏波分離し、それぞれ異なる位置に出力させる機能、もしくはその逆の機能をもつ偏波合分波器、光の伝搬方向に回折格子構造を設け、所望の波長または偏波の光を光導波路から上下方向に回折させることで、空間に光を伝搬させる機能をもつグレーティングカプラなど、光導波路を基本としたさまざまな導波路型のデバイスもまた、さまざまな機能を実現するための光デバイスの基本的な構成要素の１つとして広く用いられている。

[0004] しかし一般的な方向性結合器あるいはＭＭＩなどの導波路型光デバイスでは、一方の光導波路を伝搬する光電力を十分に他方の光導波路へと移行する、または入力光電力を複数の出力に等分配するためには、伝搬する光の波長

の数十倍程度と長い距離が必要になり、デバイスサイズが大きくなるという課題がある。また、ＭＭＩ、偏波合分波器、グレーティングカプラなどの光デバイスでは動作する波長あるいは偏波の範囲が小さく、様々な波長あるいは偏波に対応するには、様々な属性の光に対応したデバイスを並列に配置するなどの工夫が必要で、それもまた全体としてのデバイスサイズが大きくなる要因となっていた。例えば方向性結合器でよく用いられる、光電力の５０％を他方に分岐する３ｄＢカプラあるいは３ｄＢスプリッタは、所望の移行率が得られるデバイス長の許容誤差範囲が約１マイクロメートル程度と非常に狭いという課題もある。全体としてのデバイス長に対し、許容誤差範囲のデバイス長が小さいという事は、方向性結合器はそれだけ製造誤差に弱いデバイスであるという事を示している。

[0005] 前記の課題を解決するための技術として、Ｓｉをベースとした光デバイス内に２つの光導波路に垂直の方向に、伝搬光以下の周期の周期構造、いわゆるサブウェーブレングス・グレーティング（Ｓｕｂ－ｗａｖｅｌｅｎｇｔｈ Ｇｒａｔｉｎｇ、ＳＷＧ）構造を導入することで、デバイスサイズの小型化、偏波無異存化、波長無依存化などの実現に成功している（非特許文献１、２）。

先行技術文献

非特許文献

[0006] 非特許文献1：C. Ye et al., “Ultra-Compact Broadband 2 x 23 dB Power Splitter Using a Subwavelength-Grating-Assisted Asymmetric Directional Coupler,” JLT, vol. 38, no. 8 (2020)

非特許文献2：P. Cheben, “Subwavelength integrated photonics,” Nature, vol. 560, pp. 565-572 (2018)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 非特許文献１、２においては、小型な方向性結合器を実現する技術が開示

されているが、ＳＷＧ構造は、波長以下のサイズの周期構造を設ける必要がある。一般的に導波路を構成するＳｉ、ＩｎＰなどの半導体光材料の屈折率は３を超えるため、実質的には波長の１／３以下のサイズが必要である。例えば波長１．５μｍであれば０．５μｍ以下の周期構造が必要であり、光導波路コア材料の充填率を５０％とすると０．２５μｍ程度の微細構造が必要となる。このようなサイズの構造体を高精度に形成することは光半導体プロセス上実現の難易度が高く、電子ビーム（ＥＢ）リソグラフィーのような高精度なプロセスが必要となり、高コスト要因となる。

[0008] 本開示は、上記の課題を解決するためになされたものであり、従来よりも必要とされる加工精度が緩和され、容易に製造することが可能な光デバイス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

[0009] 本開示の光デバイスは、基板上に並んで配置された第一光導波路と第二光導波路を備え、前記第一光導波路と前記第二光導波路の間で光が結合するように他の領域よりも前記第一光導波路と前記第二光導波路との間隔が狭い光結合領域を有する光デバイスであって、前記光結合領域において、前記第一光導波路と前記第二光導波路との周囲に、前記光の伝搬方向に、第一屈折率材料と、第一屈折率材料よりも屈折率が低い第二屈折率材料が周期Λで交互に配置されたグレーティング構造を有し、真空中の光速をc_0、前記光の周波数をｆ、前記光結合領域における導波モードに対応する実効屈折率をn_{eff}とすると、前記周期Λが、$11c_0/(20n_{eff}\cdot f) \leqq \Lambda \leqq 3c_0/(4n_{eff}\cdot f)$を満足するものである。

発明の効果

[0010] 本開示によれば、従来よりも必要とされる加工精度が緩和され、容易に製造することが可能な光デバイスが得られる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]実施の形態１による光デバイスの構成を示す模式的な上面図である。

[図2]実施の形態１による光デバイスの光結合領域の構成を示す模式的な拡大

斜視図である。

[図3]実施の形態１による光デバイスの動作点を、比較例の光デバイスの動作点と比較して示す線図である。

[図4]実施の形態１による光デバイスの動作を、比較例の光デバイスの動作と比較して説明するための模式的な図である。

[図5]比較例の光デバイスの光電力の分岐の特性を示す線図である。

[図6]別の比較例の光デバイスの光電力の分岐の特性を示す線図である。

[図7]実施の形態１による光デバイスの光電力の分岐の特性を示す線図である。

[図8]ＦＤＴＤ法の計算モデルを示す図である。

[図9]比較例の光デバイスの特性を示す線図である。

[図10]実施の形態２の光デバイスの特性を比較例と比較して示す線図である。

[図11]実施の形態２の光デバイスの動作を比較例と比較して示す図である。

[図12]実施の形態３による光デバイスの構成を示す模式的な上面図である。

[図13]実施の形態３による光デバイスの光結合領域の構成を示す模式的な拡大斜視図である。

発明を実施するための形態

[0012] 実施の形態１．

図１および図２に、実施の形態１による光デバイスとしての方向性結合器の構成を示す。図１の平面図に示すように、この方向性結合器は、内部に周囲よりも屈折率が高い領域を有し、この領域に光が局所的に閉じこもり、ある特定の方向にのみ光の伝搬が許容された第一光導波路１１および第二光導波路２１の２つの光導波路が、基板１上に形成されている。この方向性結合器を、図１に示すように、光の伝搬方向に、入力領域Ａ、幅寄せ領域Ｂ、結合領域Ｃ、幅拡大領域Ｄ、出力領域Ｅの順に領域分けすると、各領域において、第一光導波路１１および第二光導波路２１は以下のような構成になっている。入力領域Ａにおいて、第一光導波路１１および第二光導波路２１は、

光の波長の数倍以上の十分な間隔で配置されている。幅寄せ領域Ｂにおいて、第一光導波路１１と第二光導波路２１の間隔が、入力領域Ａにおける伝搬光の波長の数倍以上の間隔から、波長サイズ程度にまで狭くなるよう変化している。この幅寄せ領域Ｂでは、第一光導波路１１と第二光導波路２１が光損失無く折れ曲がるよう、領域の長さが波長の１０倍程度以上の長さで、第一光導波路１１、第二光導波路２１共に、円弧の組み合わせ、または正弦波または余弦波の組み合わせ、またはサイクロイド曲線、クロソイド曲線などの曲線を描いて折れ曲がるよう構成されている。光結合領域Ｃにおいては、第一光導波路１１と第二光導波路２１は、間隔が波長程度で概ね一定に保つように平行かつ近接して配置されている。さらに、幅拡大領域Ｄにおいて、第一光導波路１１と第二光導波路２１の間隔が、幅寄せ領域Ｂと逆に、波長程度から光の波長の数倍以上の十分な間隔になるよう広がっている。幅拡大領域Ｄは、波長の１０倍程度以上の長さで、第一光導波路１１、第二光導波路２１共に、円弧の組み合わせ、または正弦波または余弦波の組み合わせ、またはサイクロイド曲線などの曲線を描いて折れ曲がるよう構成されている。さらに、出力領域Ｅでは、第一光導波路１１と第二光導波路２１とが、光の波長の数倍以上の十分な間隔で配置されている。この光デバイスは、第一光導波路１１と第二光導波路２１の間隔が最接近している領域である光結合領域Ｃにおいて、第一光導波路１１と第二光導波路の光が結合する方向性結合器を構成している。

[0013] 図２は、光結合領域Ｃの部分を拡大して示す斜視図である。図２に示すように、光結合領域Ｃの第一光導波路１１および第二光導波路２１は、基板１と、基板１上に形成された下部クラッド層５と、下部クラッド層５上に下部クラッド層５よりも高い屈折率をもつ材料で構成される、光を閉じ込める領域であるコア層１１ａおよび２１ａを有する。さらに、コア層と同じ材質で構成され、光の伝搬方向のおおよそ垂直になるように、かつコア層１１ａとコア層２１ａの双方を貫くような突起部（グレーティング）３１が周期的に繰り返し配置されているグレーティング構造３を有する。さらに、コア層１

１ａ、２１ａ、および突起部３１は、コア層を構成する材料よりも低い屈折率を有する、例えばSiO_2、ＳｉＮなどの材料からなる周囲クラッド６で囲まれている。すなわちグレーティング構造３は、コア層と同じ材料である第一屈折率材料の突起部３１と第一屈折率材料よりも屈折率が低い第二屈折率材料の周囲クラッド６とが一定の周期で繰り返し配置された構成であり、導波路全体としてグレーティング付きの導波路構造となっている。グレーティング構造３のグレーティングの周期Λは、おおむね以下の式（１）を満足するように設定されている。

[0014] [数1]

数１

$$\frac{11c_0}{20n_{eff}\cdot f}\leq \Lambda \leq \frac{3c_0}{4n_{eff}\cdot f} \qquad (1)$$

ここで、c_0は真空中を伝搬する光の速度、ｆは光デバイスを伝搬する光の周波数、n_{eff}は導波モードの実効屈折率、をそれぞれ示す。ここで、実効屈折率は、光導波路の構造および素材で決定されるパラメータであり、光導波路が複雑な構造をもつ場合であっても、導波モードの伝搬速度から、その光導波路が一定の屈折率材料で構成されると仮定したときの、屈折率に相当する値で定義される。なお、図中には、方向性結合器に入力する光４１と、方向性結合器によって分岐した出力光４２、４３を矢印で模式的に示している。また、図１と図２の方向の対応がわかるよう、ｘ、ｙ、ｚ軸を図中に記載している。

[0015] 図３に、グレーティング付き光導波路を伝搬する光の分散関係を模式的に示す。横軸に波数、縦軸に周波数を示す。グレーティングによる逆格子ベクトルの作用によって、分散特性はいわゆるＸ点（＝π／Λ）で折り返され、かつＸ点付近で分散特性が湾曲され、伝搬モードが存在しないブラッグ反射領域が生じる。ブラッグ反射領域よりも低周波数側がＳＷＧ領域である。先行技術で示されているグレーティング付き光導波路は、図中の破線矢印で示すＳＷＧ領域を動作点としていた。一方、ブラッグ反射領域よりも高周波数側は放射領域であり、伝搬光が導波路外部に放射され、電力が減衰していく

ような動作となる。本実施の形態１による光デバイスの動作点は、図３中の実線矢印で示す領域である。図３で示すf_min～f_maxの間に動作周波数ｆが入るように、すなわち式（１）を満足するようにグレーティングの周期Λを設定する。本実施の形態１にかかる光デバイスは、先行技術で示されるＳＷＧデバイスと同等の波数を示し放射領域となる周波数で動作することを特徴とする。Λをこのように設定することで、放射領域ではあるものの、同一の光デバイスを伝搬する光の周波数ｆに対して、グレーティングの周期Λを先行技術よりも長周期化できる、すなわちグレーティングを形成するパターンの微細度を緩和できるという効果が得られる。

[0016] 以下では、上記構造の効果について説明する。図４に、通常の光導波路をベースにしたときの方向性結合器と、グレーティング付き光導波路をベースにしたときの方向性結合器中を伝搬する光の関係を模式的に示す。通常の光導波路をベースにした構造では伝搬光の周波数増大に従って波数ベクトルも大きくなるが、グレーティング付き光導波路をベースにした構造では逆格子ベクトルが作用する。本開示の技術のように、ブラッグ反射領域よりも高い周波数領域で動作する場合、逆格子ベクトルが作用して伝搬光の波数ベクトルが折り返された結果、波数ベクトルのｋｚ成分を従来のＳＷＧと同程度の長さに設定することができる。これにより、本開示では長周期のグレーティング構造であっても、従来のＳＷＧ構造と同様の効果を得ることができる。

[0017] 図５から図７に、それぞれ、グレーティング構造を有さない通常の方向性結合器、ＳＷＧ構造のグレーティングを有する方向性結合器、本実施の形態１によるグレーティング構造を有する方向性結合器に、波長１．５５μｍの光を入射させたときの、光結合領域の長さと光電力の分岐率の関係を計算により求めた結果を示す。いずれの方向性結合器も、光結合領域における、第一光導波路１１および第二光導波路２１が、屈折率が３．４のＳｉ導波路であって、幅が０．４μｍおよび０．５μｍ、間隔が０．２μｍ、高さが０．２５μｍで、屈折率１．６のSiO_2クラッドに囲まれている方向性結合器（n_{eff}＝２．３８）である。図５は、比較例としての、グレーティング構造を有

さない通常の方向性結合器の計算結果である。図６は、比較例としての、周期０．２２μｍ（Λ＝0.338ｃ$_0$／（ｎ$_{eff}$・ｆ））、充填率５０％のＳＷＧ構造を設けた方向性結合器の計算結果である。図７は、本実施の形態１による方向性結合器の計算結果の一例であり、グレーティング構造３として、周期０．３９μｍ（Λ＝0.600ｃ$_0$／（ｎ$_{eff}$・ｆ））、充填率５０％のグレーティング構造を設けた場合の計算結果である。

[0018] なお、第一光導波路１１と第二光導波路２１の幅を異なる幅とするのは、異なる幅とすることで、光分岐に必要な距離を短くできる効果があるためである。幅の比が１．２倍程度からその効果が顕著になる。設計したい分岐率により最適な比は異なる。ただし、幅の比が２倍以上のように大きくなりすぎると第一光導波路と第二光導波路それぞれの導波モードの実効屈折率差が大きくなりすぎ、結合モードを形成しなくなる。

[0019] 図５より、グレーティングが無い通常の方向性結合器では長さをどのように設定しても５０％の電力分岐を実現できないが、図６のようにＳＷＧ構造を付加することで、長さ６μｍ～８μｍ付近で概ね５０％の電力分岐を実現できる。また、図７の本実施の形態１による構成においては、ＳＷＧよりも約１．８倍の長周期のグレーティングであっても、同様に長さ６μｍ～８μｍ付近で概ね５０％の電力分岐を実現できており、従来のＳＷＧ構造と同等の特性が得られていることがわかる。同じ電力分岐が得られる方向性結合器長が長いという事は方向性結合器の要求製造精度を緩和できるという事である。また、同時に所望の特性が得られる光学長が長いという事であり、動作する波長帯域を拡大することができるという効果もある。

[0020] なお、方向性結合器の形状、素材、位置関係は本実施の形態１に限る必要はない。例えば入力側の光導波路と出力側の光導波路の位置は入れ替わっても良いし、基板１の材料はＳｉ、ＧａＡｓ、SiO_2、ＳｉＮ、$LiNbO_3$などの他の材料でもよいし、コア層もＳｉである必要はなく、クラッド層よりも高屈折率材料でさえあればよく、例えばSiO_2クラッドに対してＧｅなどをドープしたSiO_2などでもよい。この場合、デバイスの屈折率が全体的に

小さくなるため、デバイスサイズが大型になるという点では不利である一方、伝搬光の光損失が小さくなるため、低損失なデバイスが実現できる利点がある。

[0021] 実施の形態２．

本実施の形態２は実施の形態１の変形例であり、図１、２に示す方向性結合器において、グレーティング３の周期が、おおむね以下の式（２）を満足することを特徴とする。

[数2]

数２

$$\frac{11c_0}{20n_{eff}\cdot f}\leq \Lambda \leq \frac{3c_0}{5n_{eff}\cdot f} \qquad (2)$$

ここで、c_0は真空中を伝搬する光の速度、ｆは光デバイスを伝搬する光の周波数、n_{eff}は導波モードの実効屈折率、Λはグレーティング３の周期をそれぞれ示す。

[0022] 実施の形態１においては、長周期グレーティングであっても、光電力の分岐比特性の観点で従来のＳＷＧデバイスと同等の特性が得られることを確認した。しかしこの動作領域は光導波路の分散関係における放射領域となるため、原理的に放射損が避けられないという問題がある。特に、グレーティングの周期Λが大きい、すなわち動作周波数が図３の分散特性の上方に位置する場合にその影響は大きくなる懸念がある。しかしΛが式（２）を満足する範囲であれば、長周期グレーティングを導入する際のデメリットとなる、放射モードによる伝搬光の減衰を抑制しつつ、実施の形態１に示す効果を実現することができる。

[0023] 以下に、本実施の形態の効果について説明する。電磁界シミュレーヨン（Ｆｉｎｉｔｅ Ｄｉｆｆｅｒｅｎｃｅ Ｔｉｍｅ Ｄｏｍａｉｎ Ｍｅｔｈｏｄ、ＦＤＴＤ法）を用いて、各構造における放射損失を計算した。図８にＦＤＴＤ法の計算モデルを示す。１０μｍ～１００μｍまで高さ０．２２μｍのグレーティング付き光導波路がクラッド中に設置されており、０μｍ～１０μｍは同じ高さの通常の光導波路となっている。屈折率ｎは、グレーテ

ィング構造の突起部３１が３．４、周囲クラッド６が１．６、光導波路が３．４である。このモデルでＸ＝０μｍ位置で光導波路の基本モードを励起して、図面右方向に向かって伝搬させている。この時のグレーティングの周期を様々に変化させたときの、伝搬距離と伝搬光の電力の関係を計算した。

[0024] 図９が、図３におけるＳＷＧ領域とブラッグ反射領域における放射損失の計算結果である。周期Λが０．２０μｍ～０．３２μｍ（Λが$0.307c_0/(n_{eff}\cdot f)$～$0.491c_0/(n_{eff}\cdot f)$）のＳＷＧ領域では、グレーティング周期に依存する過剰損失は発生していない事がわかる。周期Λが０．３４μｍ（$\Lambda=0.522c_0/(n_{eff}\cdot f)$）のブラッグ反射領域においては、グレーティング付き光導波路内に伝搬モードが存在しないため、伝搬距離に応じて大きく振動しながら電力が減衰している事がわかる。

[0025] 図１０が、図３における放射領域における放射損失の計算結果である。周期Λが０．３６μｍ～０．３８μｍ（Λが$0.553c_0/(n_{eff}\cdot f)$～$0.583c_0/(n_{eff}\cdot f)$）の本実施の形態２の構造においては、放射領域ではあるため、わずかながら損失はあるものの、図９におけるＳＷＧ領域の損失特性とほぼ同等の損失に抑えられていることがわかる。一方、周期Λを大きくした０．４０μｍ～０．６０μｍ（Λが$0.614c_0/(n_{eff}\cdot f)$～$0.922c_0/(n_{eff}\cdot f)$）の領域では、放射損失が大きく、伝搬光の光電力が大きく減衰していることがわかる。

[0026] 図１１に、周期Λが０．２０μｍ（$\Lambda=0.307c_0/(n_{eff}\cdot f)$）（図１１Ｄ）、０．３４μｍ（$\Lambda=0.522c_0/(n_{eff}\cdot f)$）（図１１Ｃ）、０．３８μｍ（$\Lambda=0.583c_0/(n_{eff}\cdot f)$）（図１１Ｂ）、０．６０μｍ（$\Lambda=0.922c_0/(n_{eff}\cdot f)$）（図１１Ａ）における伝搬光の電磁界分布の計算結果を示す。図１１において、上向き（↑）は電界が正であり、下向き矢印（↓）が電界負であり、濃いほど絶対値が大きいことを示している。図９、図１０に示した、放射損失が大きな構造においては伝搬光の強度が右へ行くほどに小さくなっている様子がわかる。

[0027] 実施の形態３．

図１２および図１３に、実施の形態３による光デバイスの構成を示す。この光デバイスは、光結合領域が多モード干渉導波路（Ｍｕｌｔｉ－Ｍｏｄｅ Ｉｎｔｅｒｆｅｒｅｎｃｅ、ＭＭＩ）となっている光デバイスである。図１２の平面図に示すように、この光デバイスは、内部に周囲よりも屈折率が高い領域を有し、前記領域に光が局所的に閉じこもり、ある特定の方向にのみ光の伝搬が許容された第一光導波路１１および第二光導波路２１の２つの光導波路が、基板１上に形成されている。この光デバイスを、図１２に示すように、光の伝搬方向に、入力領域Ａ、幅寄せ領域Ｂ、結合領域Ｃ、幅拡大領域Ｄ、出力領域Ｅの順に領域分けすると、各領域において、第一光導波路１１および第二光導波路２１は以下のような構成になっている。入力領域Ａにおいて、第一光導波路１１および第二光導波路２１は、光の波長の数倍以上の十分な間隔で配置されている。幅寄せ領域Ｂにおいて、第一光導波路１１と第二光導波路２１の間隔が、入力領域における伝搬光の波長の数倍以上の間隔から、波長サイズ程度にまで狭くなるよう変化している。この幅寄せ領域Ｂでは、第一光導波路１１と第二光導波路２１が光損失無く折れ曲がるよう、領域の長さが波長の１０倍程度以上の長さで、第一光導波路１１、第二光導波路２１共に、円弧の組み合わせ、または正弦波または余弦波の組み合わせ、またはサイクロイド曲線、クロソイド曲線などの曲線を描いて折れ曲がるよう構成されている。光結合領域Ｃにおいては、グレーティング構造３０が形成されてＭＭＩ部を構成しており、第一光導波路１１と第二光導波路２１から光がこのグレーティング構造３０に入射するように構成されている。また、光結合領域Ｃのグレーティング構造３０からの光が、再び幅拡大領域Ｄにおける第一光導波路１１と第二光導波路２１に結合するよう構成されている。幅拡大領域Ｄにおいては、第一光導波路１１と第二光導波路２１の間隔が、幅寄せ領域Ｂとは逆に、光結合領域Ｃ側の間隔である波長程度から光の波長の数倍以上の十分な間隔になるよう広がっている。幅拡大領域Ｄは、波長の１０倍程度以上の長さで、第一光導波路１１、第二光導波路２１共に、円弧の組み合わせ、または正弦波または余弦波の組み合わせ、または

サイクロイド曲線などの曲線を描いて折れ曲がるよう構成されている。さらに、出力領域Ｅでは、第一光導波路１１と第二光導波路２１とが、光の波長の数倍以上の十分な間隔で配置されている。

[0028] 光結合領域ＣのＭＭＩ部では、図１３に示すように、基板１上と、基板１上に形成された下部クラッド層５と、下部クラッド層５上に前記下部クラッド層５よりも高い屈折率をもつ材料で構成される、光の伝搬方向のおおよそ垂直になるように、グレーティング３３が周期的に繰り返し設置されているグレーティング構造３０と、グレーティング３３を囲むように設置された、コア層を構成する材料よりも低い屈折率を有する、例えばSiO_2、ＳｉＮなどの材料からなる周囲クラッド６で囲まれた構成のグレーティング付きの導波路構造となっており、グレーティング３３の周期が、おおむね以下の式（３）（実施の形態１の式（１）と同じ）を満足するよう設定されている。また、光の損失が十分に小さいＭＭＩとして機能するためには、グレーティング構造３０のｘ方向、すなわち光の伝搬方向に垂直で基板１に平行な方向、の幅は光の波長の３倍以上とする必要がある。

[0029] [数3]

数３

$$\frac{11c_0}{20n_{eff}\cdot f}\leq \Lambda \leq \frac{3c_0}{4n_{eff}\cdot f} \qquad (3)$$

ここで、c_0は真空中を伝搬する光の速度、ｆは光デバイスを伝搬する光の周波数、n_{eff}は導波モードの実効屈折率、Λはグレーティング３３の周期をそれぞれ示す。なお、図中には、本実施の形態の方向性結合器に入力する光４１と、方向性結合器によって分岐した出力光４２、４３を矢印で模式的に示している。また、図１２と図１３の方向の対応がわかるよう、ｘ、ｙ、ｚ軸を図中に記載している。

[0030] 本実施の形態３とすることで、より要求製造精度が低い長周期のグレーティングで、先行技術で開示されているＳＷＧ構造ＭＭＩと同様に広い波長範囲での電力分岐動作を実現可能である。これにより、製造コストを低減できるという利点を得られる。

[0031] 本開示には、様々な例示的な実施の形態及び実施例が記載されているが、１つ、または複数の実施の形態に記載された様々な特徴、態様、及び機能は特定の実施の形態の適用に限られるのではなく、単独で、または様々な組み合わせで実施の形態に適用可能である。従って、例示されていない無数の変形例が、本開示の技術の範囲内において想定される。例えば、少なくとも１つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合、さらには、少なくとも１つの構成要素を抽出し、他の実施の形態の構成要素と組み合わせる場合が含まれるものとする。

符号の説明

[0032] １　基板、３、３０　グレーティング構造、１１　第一光導波路、２１　第二光導波路、Ｃ　光結合領域、３１、３３　グレーティング

請求の範囲

[請求項1] 基板上に並んで配置された第一光導波路と第二光導波路を備え、前記第一光導波路と前記第二光導波路の間で光が結合するように他の領域よりも前記第一光導波路と前記第二光導波路との間隔が狭い光結合領域を有する光デバイスであって、

前記光結合領域において、前記第一光導波路と前記第二光導波路との周囲に、前記光の伝搬方向に、第一屈折率材料と、第一屈折率材料よりも屈折率が低い第二屈折率材料が周期Λで交互に配置されたグレーティング構造を有し、真空中の光速をc_0、前記光の周波数をｆ、前記光結合領域における導波モードに対応する実効屈折率をn_{eff}とすると、前記周期Λが、

$$11c_0/(20n_{eff}\cdot f) \leqq \Lambda \leqq 3c_0/(4n_{eff}\cdot f)$$

を満足する光デバイス。

[請求項2] 前記周期Λが、

$$11c_0/(20n_{eff}\cdot f) \leqq \Lambda \leqq 3c_0/(5n_{eff}\cdot f)$$

を満足する請求項１に記載の光デバイス。

[請求項3] 前記第一光導波路の幅が前記第二光導波路の幅の１．２倍以上２倍以下である請求項１または２に記載の光デバイス。

[請求項4] 基板上に並んで配置された第一光導波路と第二光導波路、および光の伝搬方向に第一屈折率材料と、第一屈折率材料よりも屈折率が低い第二屈折率材料が周期Λで交互に配置されたグレーティング構造を備え、前記第一光導波路と前記第二光導波路とから前記グレーティング構造に光が入射されるよう構成されており、光の伝搬方向に垂直で前記基板に平行な方向の前記グレーティング構造の幅が、光の波長の３倍以上であり、真空中の光速をc_0、前記光の周波数をｆ、前記グレーティング構造における導波モードに対応する実効屈折率をn_{eff}とすると、前記周期Λが

$$11c_0/(20n_{eff}\cdot f) \leqq \Lambda \leqq 3c_0/(4n_{eff}\cdot f)$$

を満足する光デバイス。

[図1]

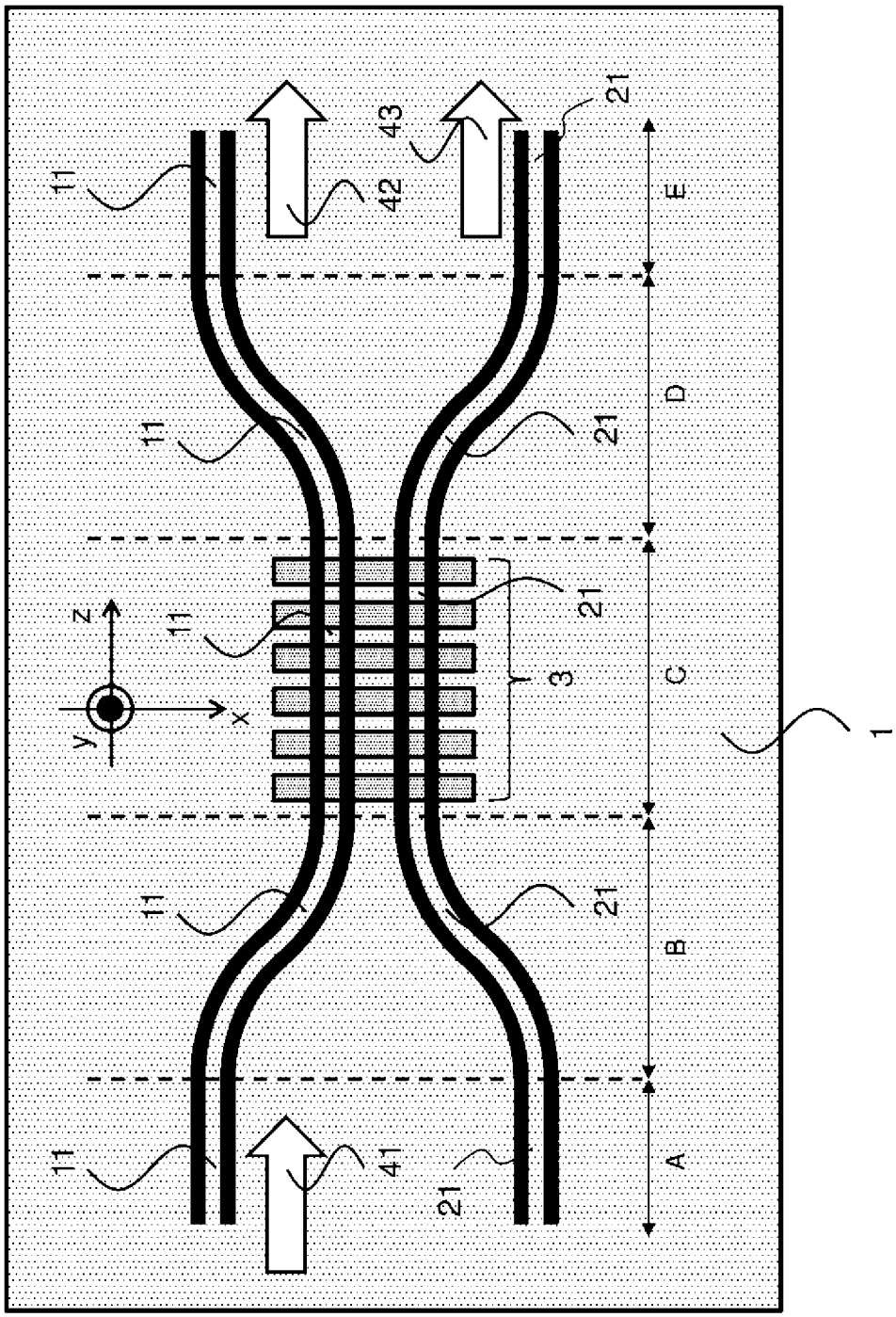
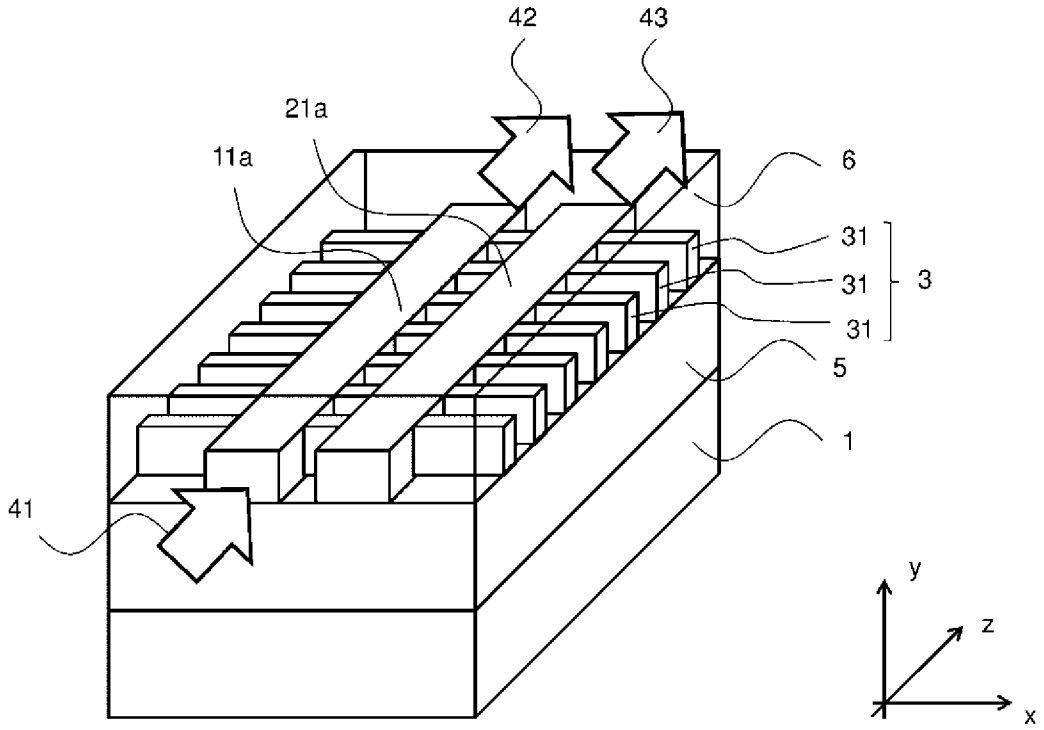


図1

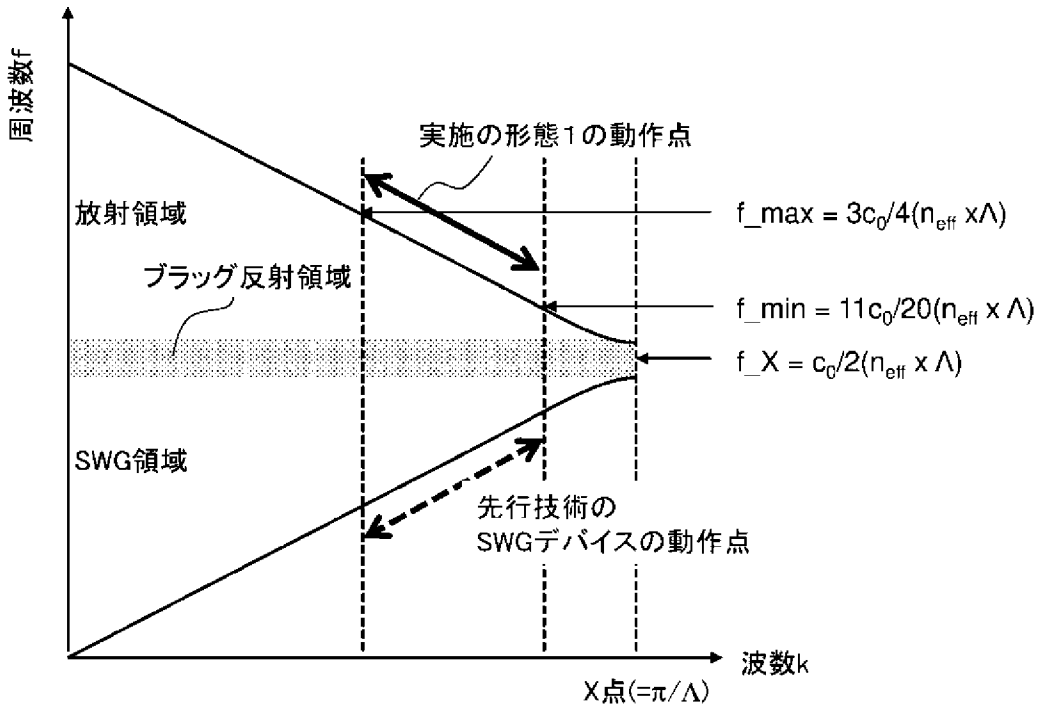
[図2]

図2


42
43
21a
11a
6
31
31
31
3
5
1
41
y
z
x

[図3]

図3


周波数f
実施の形態1の動作点
放射領域
ブラッグ反射領域
SWG領域
f_max = 3c0/4(neff xΛ)
f_min = 11c0/20(neff x Λ)
f_X = c0/2(neff x Λ)
先行技術の
SWGデバイスの動作点
波数k
X点(=π/Λ)

[図4]

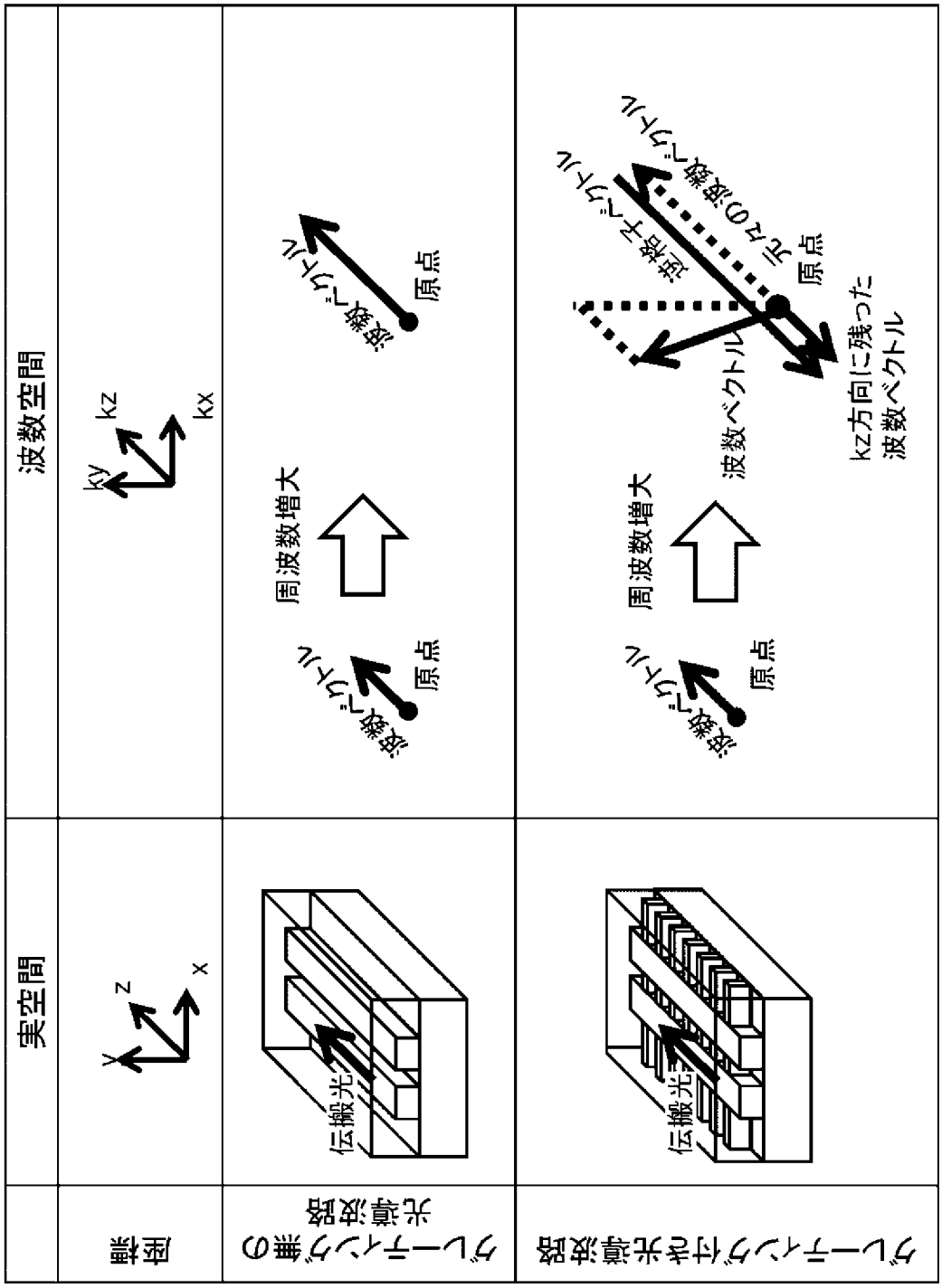
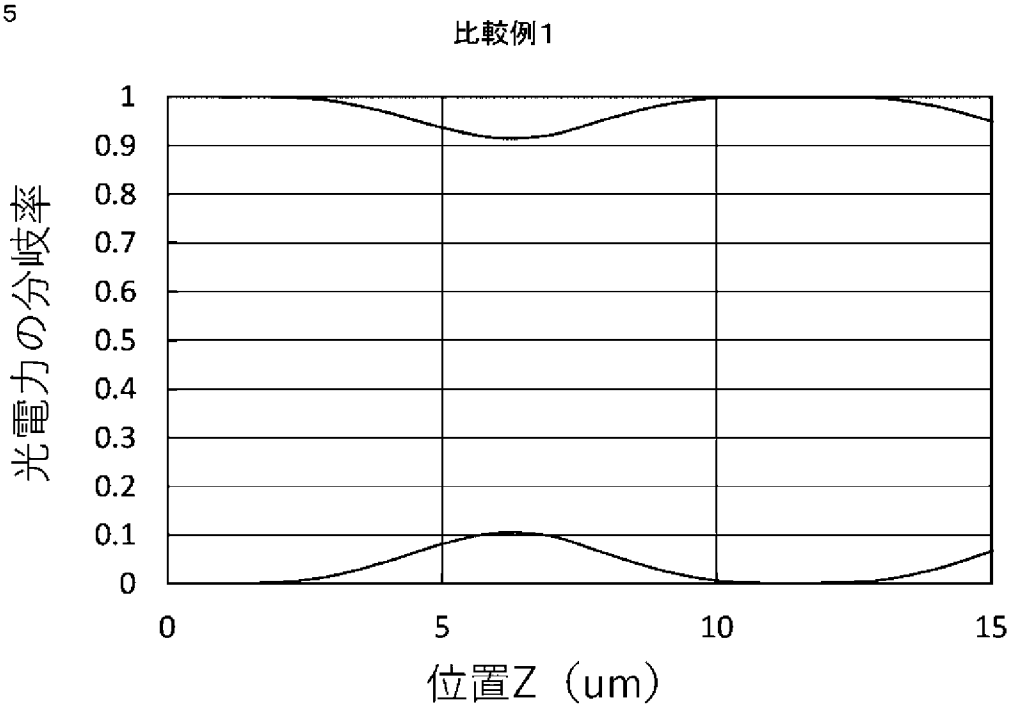

実空間
波数空間
座標
グレーティング無の光導波路
グレーティング付き光導波路
z
x
y
kz
kx
ky
伝搬光
波数ベクトル
原点
周波数増大
kz方向に残った波数ベクトル

図4

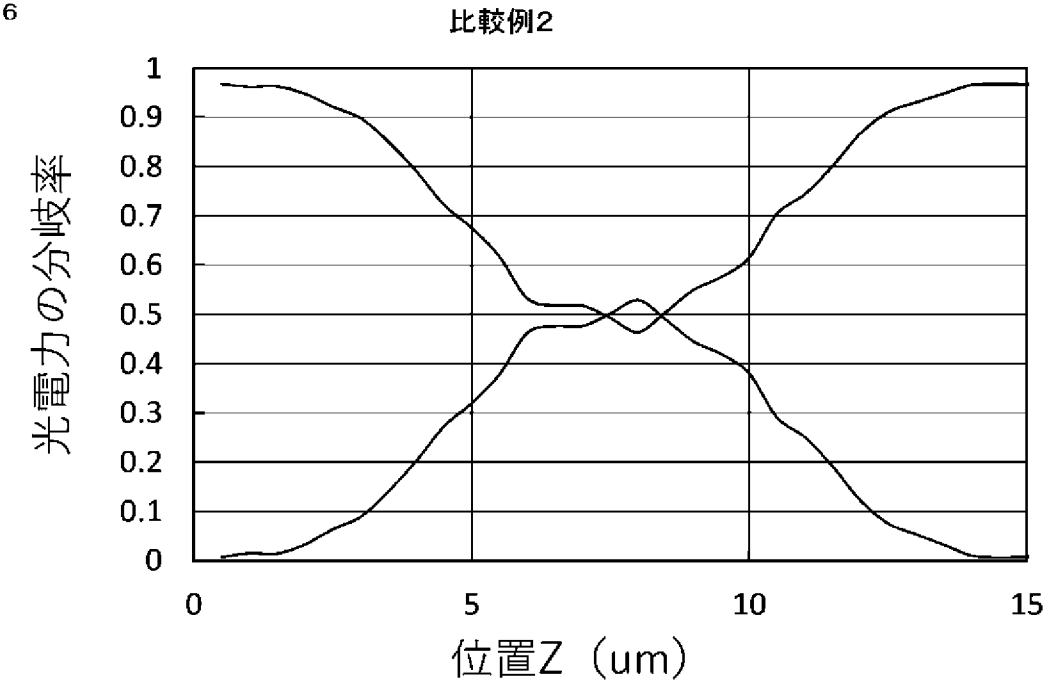
[図5]

図5


比較例1
光電力の分岐率
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
5
10
15
位置Z（um）

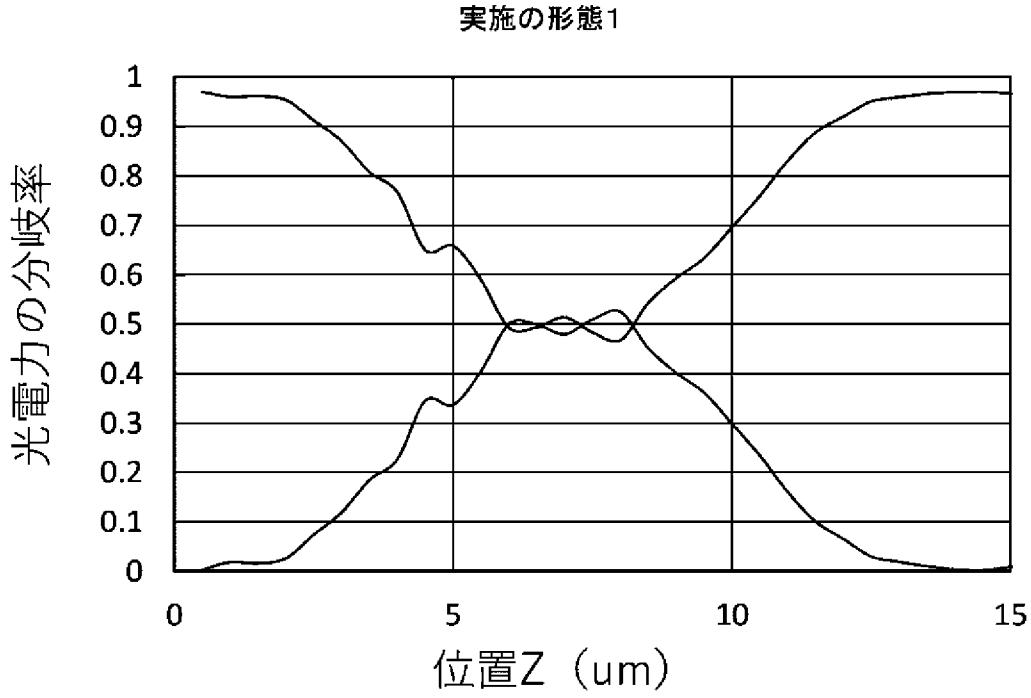
[図6]

図6


比較例2
光電力の分岐率
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
5
10
15
位置Z（um）

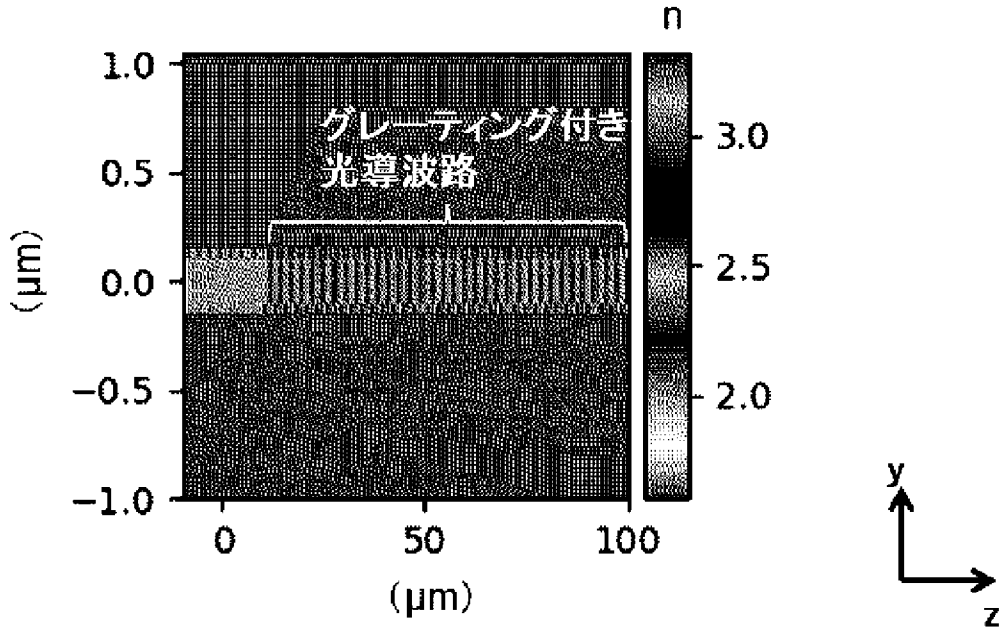
[図7]

図7


実施の形態1
光電力の分岐率
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
5
10
15
位置Z（um）

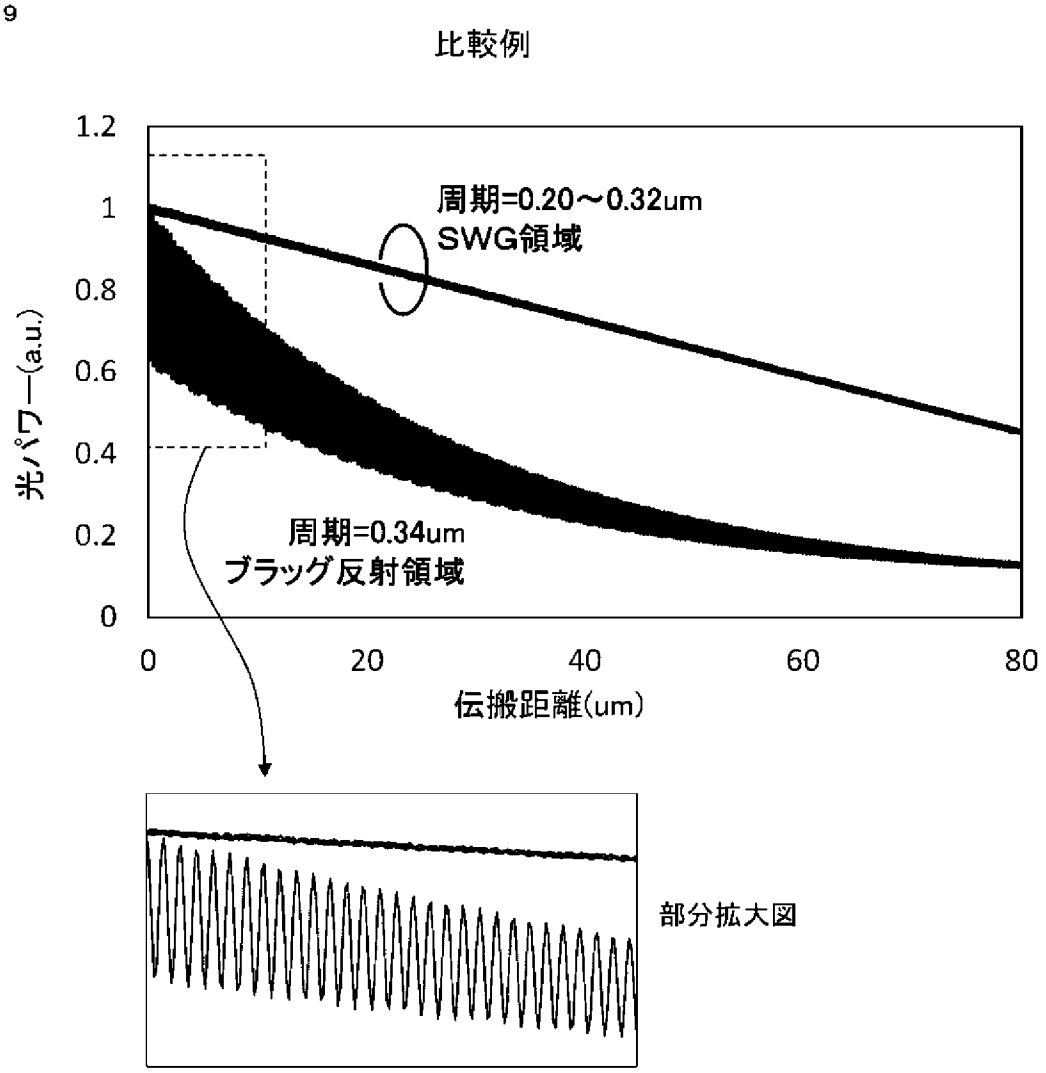
[図8]

図8


n
1.0
0.5
0.0
−0.5
−1.0
(μm)
グレーティング付き
光導波路
3.0
2.5
2.0
0
50
100
(μm)
y
z

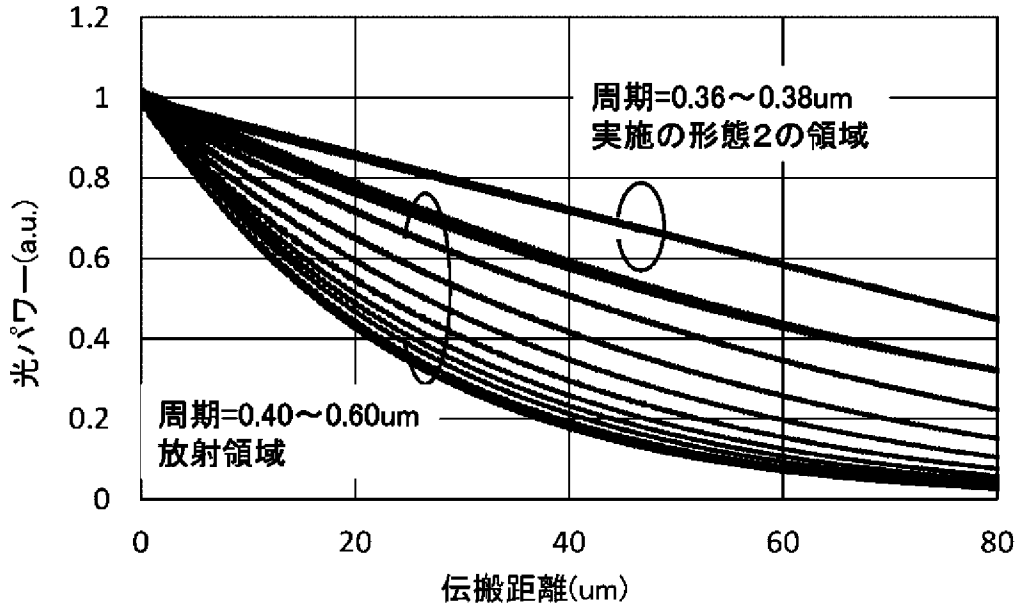
[図9]

図9


比較例
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
光パワー(a.u.)
周期=0.20～0.32um
SWG領域
周期=0.34um
ブラッグ反射領域
0
20
40
60
80
伝搬距離(um)
部分拡大図

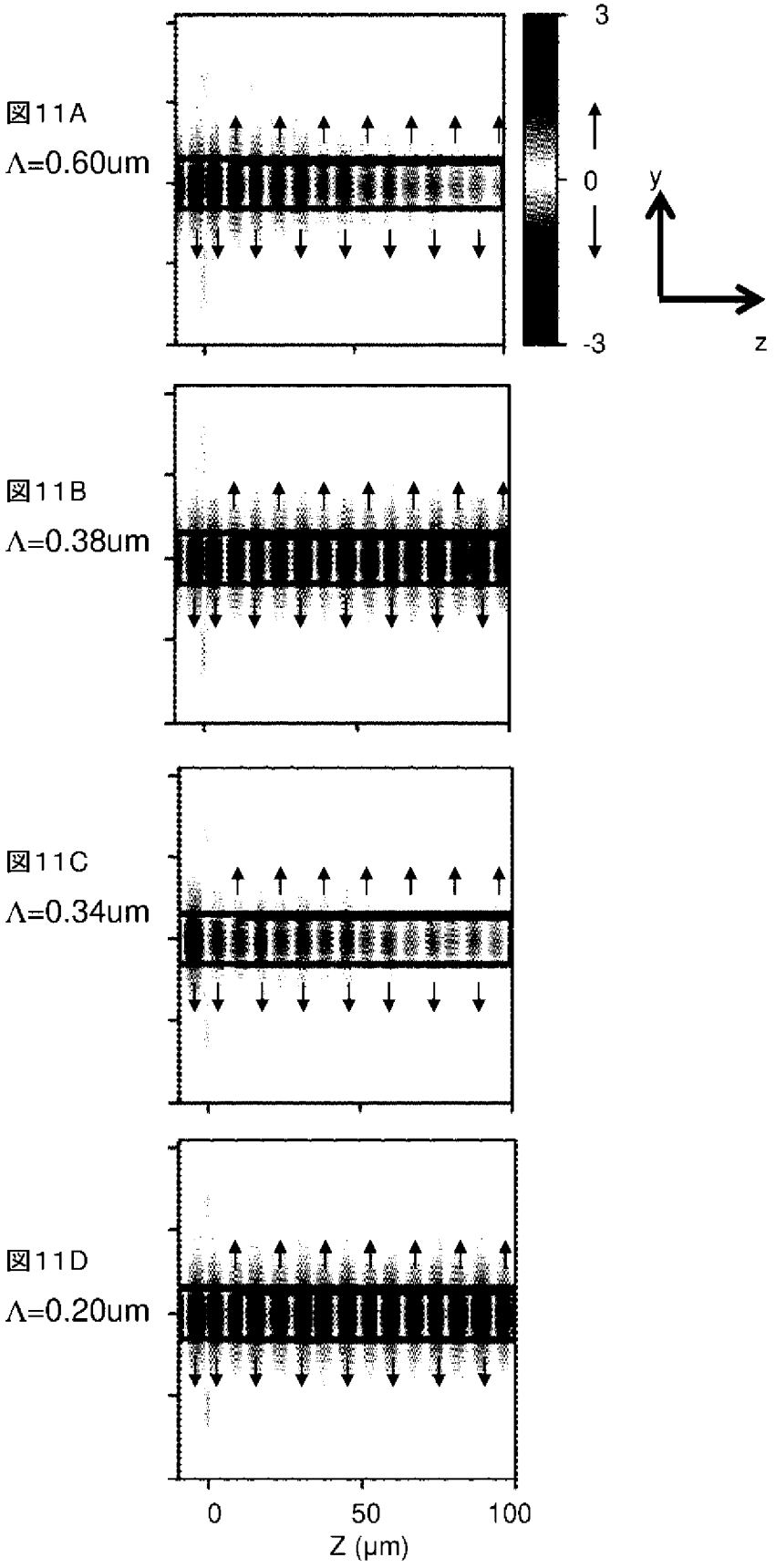
[図10]

図10


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
光パワー(a.u.)
周期=0.36～0.38um
実施の形態2の領域
周期=0.40～0.60um
放射領域
0
20
40
60
80
伝搬距離(um)

[図11]

図11


図11A
Λ=0.60um
図11B
Λ=0.38um
図11C
Λ=0.34um
図11D
Λ=0.20um
3
0
-3
y
z
0
50
100
Z (μm)

[図12]

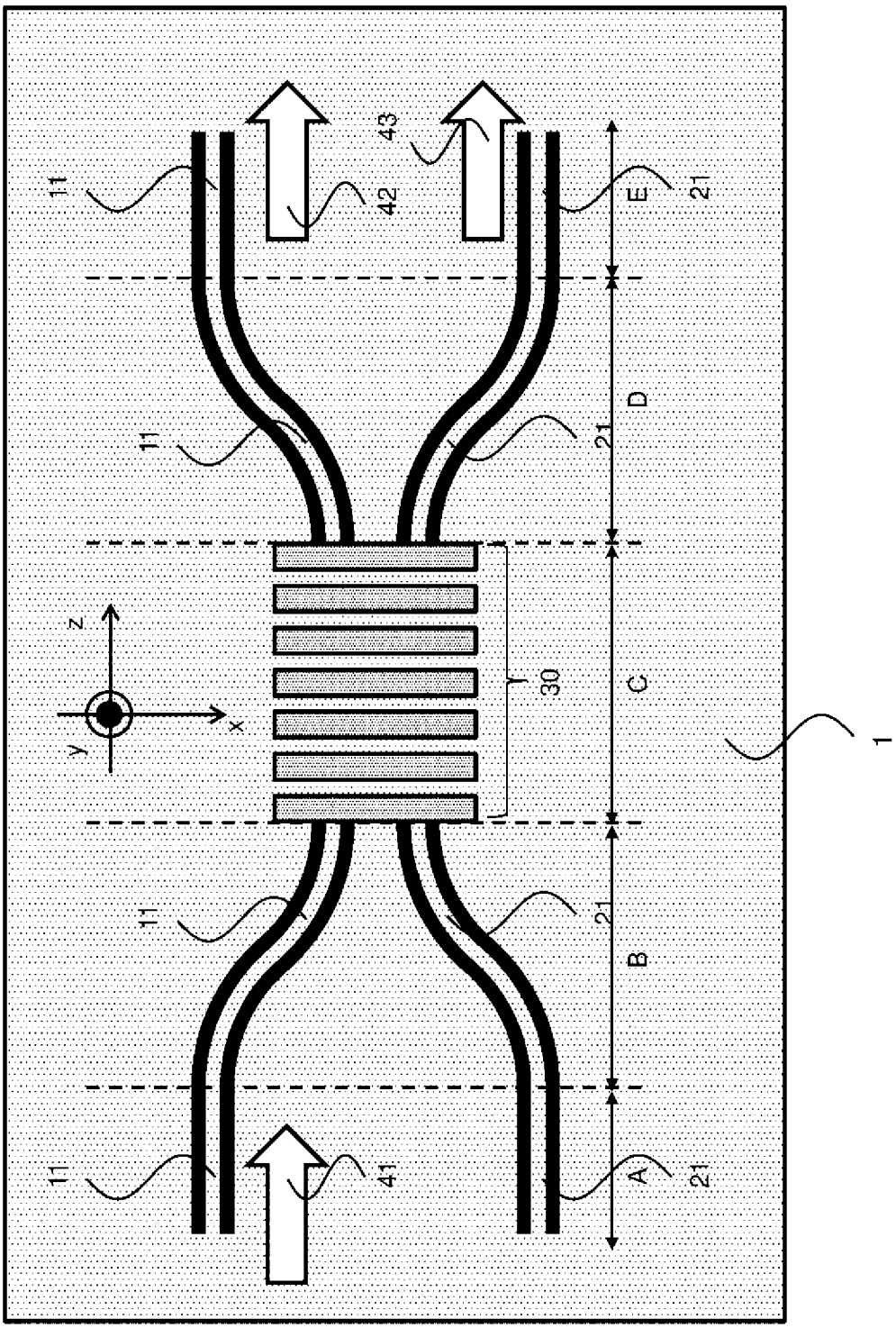
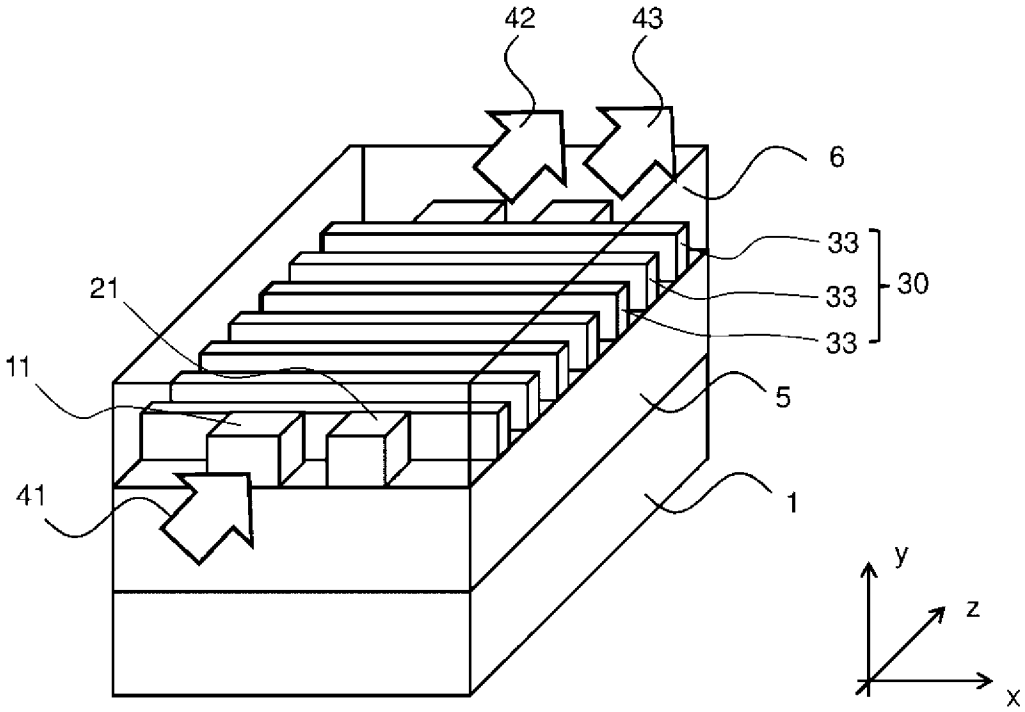


図12

[図13]

図13



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/025251

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/125(2006.01)i; ***G02B 6/124***(2006.01)i
FI: G02B6/125 301; G02B6/124

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)

G02B6/12-6/14

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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

JSTPius/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	YE, C. et al. Ultra to Compact Broadband 2 × 2 3 dB Power Splitter Using a Subwavelength toGrating-Assisted Asymmetric Directional Coupler. JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY. 15 April 2020, vol. 38, no. 8, pp. 2370-2375, 10.1109/JLT.2020.2973663 sections I-IV, fig. 1-8	1-4
Y		3-4
X	CN 106094107 A (PEKING UNIVERSITY) 09 November 2016 (2016-11-09) paragraphs [0029]-[0048], fig. 3-6	1-2
Y		3-4
A	JP 2015-121626 A (KDDI CORPORATION) 02 July 2015 (2015-07-02) entire text, all drawings	1-4
A	WO 2005/085921 A1 (JAPAN SCIENCE & TECHNOLOGY AGENCY) 15 September 2005 (2005-09-15) entire text, all drawings	1-4
A	JP 7205678 B1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 17 January 2023 (2023-01-17) entire text, all drawings	1-4

☑ 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	Date of mailing of the international search report
04 September 2023	**19 September 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/025251

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2021-179484 A (OKI ELECTRIC INDUSTRY CO., LTD.) 18 November 2021 (2021-11-18) entire text, all drawings	1-4
A	CHEBEN, P. et al. Subwavelength integrated photonics. Nature. 30 August 2018, vol. 560, pp. 565-572, https://doi.org/10.1038/s41586-018-0421-7 entire text, all drawings	1-4
A	TEGLIETTI, Bruno et al. Subwavelength Grating Waveguide-Based 1310/1550 nm Diplexer. 2022 IEEE Photonics Conference (IPC). 2022, DOI 10.1109/IPC53466.2022.9975638 entire text, all drawings	1-4
A	WANG, Z. et al. Silicon-based subwavelength grating polarization beam splitter with asymmetric directional coupler. Laser Physics. 04 July 2023, vol. 33, P.086204, https://doi.org/10.1088/1555-6611/acdbc4 entire text, all drawings	1-4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/025251

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 106094107 A	09 November 2016	(Family: none)	
JP 2015-121626 A	02 July 2015	(Family: none)	
WO 2005/085921 A1	15 September 2005	US 2007/0280592 A1 entire text, all drawings	
JP 7205678 B1	17 January 2023	(Family: none)	
JP 2021-179484 A	18 November 2021	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/025251

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G02B 6/125(2006.01)i; G02B 6/124(2006.01)i
FI: G02B6/125 301; G02B6/124

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））

G02B6/12-6/14

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	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３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）

ＪＳＴＰｌｕｓ／ＪＳＴ７５８０（ＪＤｒｅａｍＩＩＩ）

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	YE, C. et al., Ultra-Compact Broadband 2 × 2 3 dB Power Splitter Using a Subwavelength-Grating-Assisted Asymmetric Directional Coupler, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 2020.04.15, Vol.38, No.8, p.2370-2375, 10.1109/JLT.2020.2973663 第I-IV節,図1-8	1-4
Y		3-4
X	CN 106094107 A (PEKING UNIVERSITY) 09.11.2016 (2016-11-09) 段落[0029]-[0048],図3-6	1-2
Y		3-4
A	JP 2015-121626 A（ＫＤＤＩ株式会社）02.07.2015 (2015-07-02) 全文,全図	1-4
A	WO 2005/085921 A1（独立行政法人科学技術振興機構）15.09.2005 (2005-09-15) 全文,全図	1-4
A	JP 7205678 B1（三菱電機株式会社）17.01.2023 (2023-01-17) 全文,全図	1-4

☑ 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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日
04.09.2023	19.09.2023

名称及びあて先

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

権限のある職員（特許庁審査官）

大西　孝宣 2L 6006

電話番号 03-3581-1101 内線 3295

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2021-179484 A (沖電気工業株式会社) 18.11.2021 (2021-11-18) 全文,全図	1-4
A	CHEBEN, P. et al., Subwavelength integrated photonics, Nature, 2018.08.30, Vol.560, p.565-572, https://doi.org/10.1038/s41586-018-0421-7 全文,全図	1-4
A	TEGLIETTI, Bruno et al., Subwavelength Grating Waveguide-Based 1310/1550 nm Diplexer, 2022 IEEE Photonics Conference (IPC), 2022, DOI 10.1109/IPC53466.2022.9975638 全文,全図	1-4
A	WANG, Z. et al., Silicon-based subwavelength grating polarization beam splitter with asymmetric directional coupler, Laser Physics, 2023.07.04, Vol.33, P.086204, https://doi.org/10.1088/1555-6611/acdbc4 全文,全図	1-4

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2023/025251

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
CN 106094107 A	09.11.2016	（ファミリーなし）	
JP 2015-121626 A	02.07.2015	（ファミリーなし）	
WO 2005/085921 A1	15.09.2005	US 2007/0280592 A1 全文,全図	
JP 7205678 B1	17.01.2023	（ファミリーなし）	
JP 2021-179484 A	18.11.2021	（ファミリーなし）	