

(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
2023年2月16日(16.02.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/017709 A1

(51) 国際特許分類:

G02F 1/377 (2006.01) G02B 6/124 (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01) G02B 6/125 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/027869

(22) 国際出願日: 2022年7月15日(15.07.2022)

(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 2021-130397 2021年8月7日(07.08.2021) JP

(71) 出願人: 株式会社小糸製作所(KOITO MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1088711 東京都港区高輪4丁目8番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 尾形 洋一(OGATA Yoichi); 〒4248764 静岡県静岡市清水区北脇500番地 株式会社小糸製作所静岡工場内 Shizuoka (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人 信栄特許事務所(SHIN-EI PATENT FIRM, P.C.); 〒1050003 東京都港区

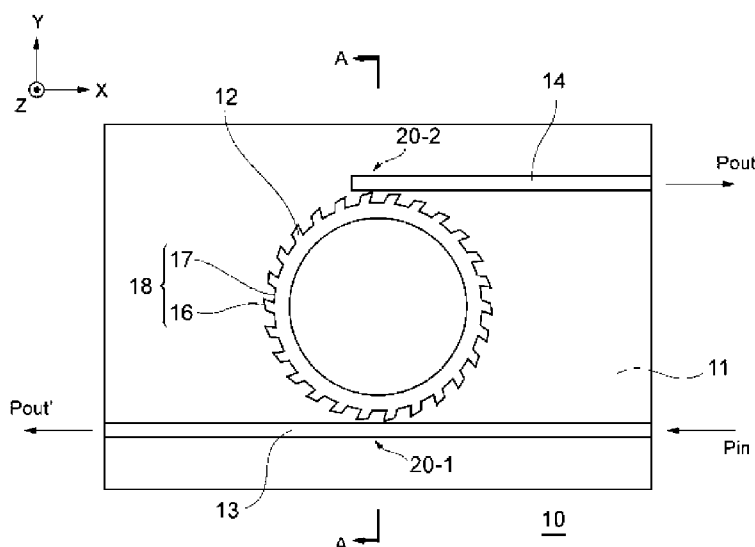
西新橋一丁目7番13号 虎ノ門イーストビルディング8階 Tokyo (JP).

(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, 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, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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, 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, 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,

(54) Title: RING RESONATOR

(54) 発明の名称: リング共振器



(57) Abstract: This ring resonator (10) comprises a substrate (11) and a ring waveguide unit (12) that guides light in an annular manner on the substrate. The ring waveguide unit (12) has a diffraction grating part (18) where a plurality of recesses (17) and protrusions (16) are periodically formed along the outer periphery thereof.

(57) 要約: リング共振器 (10) であって、基板 (11) と、基板上に環状に光を導波するリング導波路部 (12) を備え、リング導波路部 (12) は外周に沿って複数の凹部 (17) および凸部 (16) が周期的に形成された回折格子部 (18) を有する。

[続葉有]

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：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

明 細 書

発明の名称： リング共振器

技術分野

[0001] 本開示は、リング共振器に関し、特に回折格子を備えたリング共振器に関する。

背景技術

[0002] リング共振器とは、閉じた光導波路に隣接して例えば入力導波路、出力導波路を配置した光デバイスである。閉じた導波路の形態は種々想定されるが、以下では一例としてリング形状（環状）の光導波路（リング導波路）を例示して説明する。リング導波路には複数の共振点が存在し、入力導波路から入力された光のうち共振条件を満たす波長（周波数）の光が抽出されて出力導波路から出力される。すなわち、リング共振器は一例として高いQ値を有する波長フィルタとして機能する。

[0003] また、リング共振器は高調波の発生に用いる場合もある。例えば、特許文献1に開示された第2高調波発生素子はバルク型のSHG（Second Harmonic Generation）素子であり、第2高調波を発生する非線形光学結晶を用いている。非線形光学結晶には2つの共振器ミラーおよび反射面が配置され、2つの共振器ミラーおよび反射面がリング共振器構造を形成し、このリング共振器構造内を光が周回する。そして非線形光学結晶で発生した第2高調波が一方の共振器ミラーから取り出される。

[0004] リング共振器の損失改善に関する文献として、例えば特許文献2が知られている。特許文献2に開示されたホイッスル形状リング共振器フィルタは、リング共振器にエバネセントカップラを介して配置された2つの導波路を備えた標準的な4ポートリング共振器フィルタの一方の導波路を接線カップラを用いて結合するようにした。このことにより、リング共振器に入力される光の結合を高めることができる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：日本国特開平05－173214号公報

特許文献2：日本国特表2018－527746号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ところで、近年移動体にLiDAR (Light Detection and Ranging) 等のセンシングシステムが搭載される事例が増えている。このようなセンシングシステムに必須のデバイスとして光を信号とする送受信デバイスがあり、送受信デバイスのキーコンポーネントの一つとして通倍器（マルチプライヤ）が挙げられる。通倍器とは一般に入力信号の周波数を整数倍して出力するコンポーネントであり、光信号の場合は光の周波数を整数倍（波長を1／整数）にする。

[0007] 一方、センシングシステムの送受信デバイスのようなデバイスでは損失、ノイズが小さいことが要求され、さらに、小型、軽量で実装が容易であることが重要となる。上述したように、リング共振器を用いた通倍器が知られているところ、これらの特質を兼ね備えた比較的簡易な構成のリング共振器が実現できれば至便である。

[0008] そこで本開示は、上記従来の問題点に鑑みなされたものであり、簡易な構成で、かつ低損失、低ノイズが実現可能なリング共振器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] 上記課題を解決するために、本開示のリング共振器は、基板と、前記基板上に環状に光を導波するリング導波路部を備え、前記リング導波路部は外周に沿って複数の凹部および凸部が周期的に形成された回折格子部を有することを特徴とする。

[0010] このような本開示のリング共振器では、入力光がリング共振器を周回しつつ回折格子部で第2高調波を発生させることができる。回折格子で構成され

たリング共振器を用いれば、低損失、低ノイズといった効果が得られる可能性がある。

[0011] また、本開示の一態様では、前記リング導波路部が非線形光学材料で形成されている。

[0012] また、本開示の一態様では、前記凸部の形状がブレード形状、ピラー形状、およびスラント形状のうちのいずれかの形状である。

[0013] また、本開示の一態様では、前記凸部の形状がスラント形状であり、前記凸部は前記光導波路を伝搬する光の伝搬方向に傾いている。

[0014] また、本開示の一態様では、前記リング導波路部に隣接して配置された入力導波路と、前記リング導波路部に隣接して配置された出力導波路と、をさらに含む。

[0015] また、本開示の一態様では、複数の前記リング導波路部が互いに隣接して配置され、一端の前記リング導波路部に隣接して配置された入力導波路と、他端の前記リング導波路部に隣接して配置された出力導波路と、をさらに含む。

[0016] また、本開示の一態様では、少なくとも一つの前記リング導波路部に隣接して配置され、光信号を読み出す読出導波路と、前記読出導波路に設けられ前記光信号を透過または遮断する光スイッチと、をさらに含む。

[0017] また、本開示の一態様では、互いに隣接する複数の前記リング導波路部は、前記凹部および前記凸部同士が互いに噛み合うように配置されている。

[0018] また、本開示の一態様では、複数の前記リング導波路部の各々の前記凸部の形状がスラント形状であり、互いに隣接する前記複数のリング導波路部の光の伝搬方向が互いに逆方向となっている。

発明の効果

[0019] 本開示では、簡易な構成で、かつ低損失、低ノイズが実現可能なリング共振器を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]第1実施形態におけるリング共振器10の構造を示す模式平面図である

。

[図2]第1実施形態におけるリング共振器10の構造を示す模式断面図である

。

[図3]第1実施形態におけるリング共振器10の作用を説明する概念図である

。

[図4]第1実施形態におけるリング共振器10の回折格子部の凸部の形状のバリエーションおよびその光学的特徴を示す図である。

[図5]第1実施形態におけるリング共振器10のスラント形状の凸部の形状パラメータを説明する概念図である。

[図6]第2実施形態におけるリング共振器20の構造を示す模式平面図である

。

[図7]第3実施形態におけるリング共振器30の構造を示す模式平面図である

。

発明を実施するための形態

[0021] (第1実施形態)

以下、本開示の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。各図面に示される同一または同等の構成要素、部材、処理には同一の符号を付すものとし、適宜重複した説明は省略する。以下の説明では、本開示におけるリング共振器を、第2高調波を発生させる通倍器に適用した形態を例示して説明する。本実施形態におけるリング共振器は一例として、二輪車、自動車、航空機等の移動体に搭載されるLiDAR等のセンシングシステムに用いられる。

[0022] 図1は、本実施形態におけるリング共振器10の構造を示す模式平面図である。図2は、図1に示すA-A線に沿って切断した本実施形態におけるリング共振器10の構造を示す模式断面図である。図1、2に示すように、リング共振器10は、基板11、リング導波路部12、入力導波路13、出力導波路14、およびカップラ20-1、20-2を備えている。リング共振器10は、一例として光集積回路を用いて構成され、リング導波路部12、入

力導波路 13、出力導波路 14、およびカプラ 20-1、20-2 の各々は光導波路によって形成されている。なお図 1、2 は、リング共振器 10 の構造を模式的に示したものであり、図中の寸法や角度は光学素子における実寸を示すものではない。

[0023] 基板 11 は、上記各光導波路を形成するための支持部材である。基板 11 の材料は特に限定されないが、本実施形態におけるリング共振器 10 においては、二酸化ケイ素 (SiO_2) を用いている。

[0024] 入力導波路 13 は、カプラ 20-1 によってリング導波路部 12 に光学的に結合され、入力光 P_{in} をリング導波路部 12 に導く。入力光 P_{in} のうちリング導波路部 12 に結合しなかった光は出力光 P_{out}' としてリング共振器 10 の外部へ出力される。

出力導波路 14 は、カプラ 20-2 によってリング導波路部 12 に光学的に結合され、リング導波路部 12 において発生した光を出力光 P_{out} として出力する。

[0025] カプラ 20-1 および 20-2 の形態は特に制限されないが、本実施形態では、一例としてエバネセント方式の光カプラを採用している。なお、以下では、カプラ 20-1、20-2 を総称する場合には「カプラ 20」という。

[0026] リング導波路部 12 は、外周に沿って形成された凸部 16 および凹部 17 を有する回折格子部 18 を備えている。リング導波路部 12 を形成する材料については特に限定されないが、本実施形態におけるリング共振器 10 では、非線形光学材料の一例である酸化チタン (TiO_2) を用いて形成されている。ただし、リング導波路部 12 を形成する材料は、非線形光学材料であればよく、酸化チタンに限られない。本実施形態における凸部 16 の形状は、一例として、後述するスラント形状である。本実施形態では、入力導波路 13、および出力導波路 14 も酸化チタンで形成されているが、入力導波路 13、および出力導波路 14 はリング導波路部 12 と別の材料で形成してもよい。

[0027] 回折格子部 18（すなわち、リング導波路部 12）は、一例として、2 次の非線形感受率 $\chi^{(2)}$ が $7 \times 10^{-12} \text{ m/W}$ 以下の範囲の非線形光学材料で構成されている。 $\chi^{(2)}$ が $7 \times 10^{-12} \text{ m/W}$ よりも大きい物質は、取り扱いが困難であるうえに高価であり、リング共振器のような光学素子に用いるのに適さない。

[0028] 次に、図 3～5 を参照して、リング導波路部 12 についてより詳細に説明する。図 3 は、図 1 におけるリング導波路部 12 を示した図である。図 3 に示すように、入力導波路 13 から入力した入力光 P_{in} のうち、角周波数 ω の光はカプラ 20-1（図示省略）によってリング導波路部 12 に結合され、符号 D1 で示す方向に周回する。角周波数 ω の光の一部は、リング導波路部 12 を周回する過程において、回折格子部 18 の作用によって角周波数 2ω の光に変換される。つまり、角周波数 ω の光の一部は角周波数 2ω の光に 2 通倍され、第 2 高調波に変換される。

[0029] すなわち、リング導波路部 12 はいわゆるリング共振器として作用し、リング導波路部 12 の導波路長等に由来する固有の共振波長（周波数）を有する。リング導波路部 12 の場合、この共振角周波数が ω に設定されている。そして、リング導波路部 12 に結合された角周波数 ω の光は、リング導波路部 12 を周回する過程で、リング導波路部 12 に配置された回折格子部 18 によって波長変換され、一部が角周波数 2ω の第 2 高調波となる。角周波数が 2ω に近い光でリング導波路部 12 の帯域外の光はリング導波路部 12 から吐き出され、出力光 P_{out}' として出力される。

[0030] 本実施形態ではさらに、図 3 に示すように、スラント形状の凸部 16 の上辺の鋭角部において局所プラズモン LP が発生する。この局所プラズモン LP によって、リング導波路部 12 を周回する第 2 高調波の強度が増強する（局所場増強）。

[0031] ここで、回折格子部 18 を構成する凸部 16 の形状について、より詳細に説明する。図 4 に示すように、代表的な凸部 16 の形状としてブレード形状、ピラー形状、スラント形状が挙げられる。ブレード形状は、鋸歯形状とも

称され、鋸の歯のような形状をいう。ピラー形状は、リング導波路部 12 の外縁をなす円 C（図 5 参照）の法線方向に突き出した 2 辺と、該 2 辺と直行する上辺から構成された柱状形状である。スラント形状は、リング導波路部 12 の外縁をなす円 C の法線方向に対して所定の角度だけ傾いた 2 辺と、該 2 辺の各々の一端に接続された上辺から構成される。

[0032] 図 5 を参照して、スラント形状の凸部 16 の形状について、より詳細に説明する。図 5 は、スラント形状の凸部 16 を拡大して示した図である。図 5 に示すように、凸部 16 は、リング導波路部 12 の外縁をなす円 C に交叉して形成された側辺 S1、S2、および上辺 U を備えている。側辺 S1 と上辺 U の交点である点 P は、上述した局所プラズモン LP の発生源となる点（局所場）である。

[0033] 側辺 S1、S2 の各々は、リング導波路部 12 の外縁をなす円 C に対する法線 N に対して角度 θ だけ傾いている。ただし、側辺 S2 の傾斜角は側辺 S1 の傾斜角と異なってもよい。凸部 16 の大きさは、凸部 16 の円 C に沿う部分の長さである幅 d、側辺 S1 の円 C の法線 N 方向の高さ h_2 で表す。

[0034] ここで、リング導波路部 12 の各部の大きさの一例について説明する。図 3 に示すリング導波路部 12 の内径 R は $150\ \mu\text{m}$ 以下、リング導波路部 12 の回折格子部 18 を除いた円環部分の幅 W は $1.0\ \mu\text{m} \sim 37.5\ \mu\text{m}$ 程度、図 2 に示すリング導波路部 12 の断面方向の高さ h_1 は $10\ \mu\text{m}$ 以下である。凸部 16 の幅 d は $0.25\ \mu\text{m}$ 程度、高さ h_2 は $0.70\ \mu\text{m}$ 程度、隣接する凸部 16 同士のピッチ（間隔）P は $700\ \text{nm} \sim 800\ \text{nm}$ 程度、傾斜角 θ は $30^\circ \sim 60^\circ$ 程度である。なお、凸部 16 のピッチ P は一例として、図 5 に示すように、側辺 S1 と円 C との交点の間隔で定義する。

[0035] 次に凸部 16 の各形状についての光学的特性について説明する。図 4 には、ブレード形状、ピラー形状、およびスラント形状の各形状の光学的特性を示している。図 4 に示す伝搬損失は伝搬光がリング導波路部 12 を周回する際に受ける損失を意味し、局所電場は上述した局所プラズモン LP を発生さ

せる局所場の強さを意味している。図4に示すように、ブレード形状では伝搬損失が小さく、局所電場は中程度である。ピラー形状では伝搬損失が比較的大きく、局所電場は比較的小さい。スラント形状では伝搬損失が小さく、局所電場は大きい。要求される光学的特性に応じて図4に示すいずれの凸部16の形状を採用してもよいが、本実施形態におけるリング共振器10では、局所プラズモンLPを用いることを前提にスラント形状を採用している。

[0036] 図4に示すように、スラント形状は伝搬損失においても局所電場においても優れた光学的特性を有している。そこで、本実施形態では、この光学的特性に着目してスラント形状の凸部16を採用するとともに、さらなる低損失化を図っている。すなわち、局所電場が大きいことを利用して局所プラズモンLPを発生させ、この局所プラズモンLPによってリング導波路部12を周回する光を増幅させている。換言すると、本実施形態に係る局所プラズモンLPは、リング共振器10においてリング導波路部12の伝搬損失が問題とならない程度の強度を有している。

[0037] 以上のように構成されたリング共振器10は、回折格子部18の作用によって第2高調波を発生させることが可能となる。また、リング共振器10におけるフィルタ作用によりノイズが除かれるため、発生した第2高調波は低ノイズである。さらに、発生した第2高調波は局所プラズモンLPによって増幅されるため、低損失なリング共振器を実現することができる。また、リング共振器10は光集積回路技術によって形成されるので、小型、軽量、低背を実現することができる。

[0038] ここで、リング共振器10の製造方法について簡潔に説明する。まず、二酸化ケイ素の基板を準備する。次にスパッタ法等を用いて基板上に酸化チタン膜を成膜する。次に、酸化チタン膜をフォトリソグラフィ、およびエッチング等の公知の技術を用いて加工し、リング導波路部12、入力導波路13、および出力導波路14を形成する。以上の方法によってリング共振器10が製造される。

[0039] 以上詳述したように、本実施形態におけるリング共振器によれば、簡易な

構成で、かつ低損失、低ノイズが実現可能なリング共振器を提供することが可能となる。

[0040] (第2実施形態)

図6を参照して、本実施形態におけるリング共振器20について説明する。本実施形態は、上記第1実施形態において、リング導波路部12を複数配置した形態である。従って、同様の構成には同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

[0041] 図6に示すように、リング共振器20は、基板11、入力導波路13、複数(図6ではn個の場合を例示している)のリング導波路部12-1、12-2、12-3、・・・、12-n(以下、総称する場合は「リング導波路部12」)、および出力導波路14を含む。リング導波路部12-1、12-2、12-3、・・・、12-nはCROW(Coupled Ring-resonating Optical Waveguide)を構成している。

[0042] 入力導波路13は、カプラ(図示省略)を介してリング導波路部12-1に結合されている。出力導波路14は、カプラ(図示省略)を介してリング導波路部12-nに結合されている。図6に示すように、リング導波路部12の各々は凸部16の傾斜方向が同じ方向になるように配置され、隣接するリング導波路部12の凸部16と凹部17とが噛み合うように配置されている。ここで、凸部16と凹部17とが噛み合うように配置するのは光の結合効率を高くするためであるが、結合効率をあまり問題としない場合には、隣接するリング導波路部12の凸部16、凹部17同士を離間させて配置してもよい。

[0043] 本実施形態におけるリング共振器20では、各リング導波路部12を伝搬する光が、隣接するリング導波路部12同士で互いに逆向きになる。すなわち、リング導波路部12-1では伝搬光は符号D1で示す方向(時計回りの方向)に周回し、以下リング導波路部12-2では符号D2で示す方向(反時計回りの方向)、リング導波路部12-3では符号D1で示す方向(時計

回りの方向)、 $\dots$ 、リング導波路部 $12-n$ では符号 $D1$ で示す方向 (時計回りの方向) に周回する。すなわち、リング導波路部 $12-1$ 、 $12-3$ 、 $\dots$ 、 $12-n$ では、周回する光の伝搬方向が凸部 16 の傾斜方向と同じ方向となるが、リング導波路部 $12-2$ 、 $12-4$ 、 $\dots$ 、 $12-(n-1)$ では、周回する光の伝搬方向が凸部 16 の傾斜方向と逆の方向となる。なお、リング導波路部 12 を周回する光の伝搬方向が凸部 16 の傾斜方向と同じ方向 (つまり時計回りの方向) であるか、逆の方向 (つまり反時計回りの方向) であるかは、リング導波路部 12 を周回する光の速度に若干の差が生ずる可能性があるが、基本的な特性、特に局所プラズモン LP の発生にはほとんど影響しないと考えられる。

[0044] リング共振器 20 においても、角周波数 ω の入力光 P_{in} が入力導波路 13 に入力されると、リング導波路部 12 の各々において角周波数 2ω の第2高調波が発生し、出力導波路 14 から出力光 P_{out} として出力される。角周波数が 2ω に近い光でリング導波路部 12 の帯域外の光はリング導波路部 12 から吐き出され、出力光 P_{out}' として出力される。

[0045] 以上のように構成されたリング共振器 20 は遅延デバイスとして機能する。すなわち、リング導波路部 12 の各々は周回する光に遅延を与えるので、入力光 P_{in} と出力光 P_{out} との間には一定の時間遅延が発生する。そしてこの遅延はリング導波路部 12 の個数によって調整することができる。調整は出力導波路 14 を配置するリング導波路部 12 を選択して行ってもよい。なお本実施形態では n が奇数の場合を例示して説明したが、むしろ偶数であってもよい。

[0046] 以上のように、本実施形態におけるリング共振器によっても、簡易な構成で、かつ低損失、低ノイズが実現可能なリング共振器を提供することが可能となる。特に、本実施形態におけるリング共振器 20 は、遅延時間を調整することが可能な遅延デバイスとして機能する。

[0047] (第3実施形態)

図7を参照して、本実施形態におけるリング共振器 30 について説明する

。本実施形態は、上記第2実施形態において、読出導波路19を配置した形態である。従って、同様の構成には同じ符号を付し、詳細な説明を省略する。

[0048] 図7に示すように、リング共振器30では、リング導波路部12-1に読出導波路19-1が、リング導波路部12-2に読出導波路19-2が、リング導波路部12-3に読出導波路19-3が、・・・、リング導波路部12-nに読出導波路19-nが各々カプラ（図示省略）を介して結合されている。読出導波路19-1の途中には光スイッチ15-1が、読出導波路19-2の途中には光スイッチ15-2が、読出導波路19-3の途中には光スイッチ15-3が、・・・、読出導波路19-nの途中には光スイッチ15-nが、各々配置されている。読出導波路19-1からは出力光Pout1が、読出導波路19-2からは出力光Pout2が、読出導波路19-3からは出力光Pout3が、・・・、読出導波路19-nからは出力光Poutnが、各々出力される。以下、読出導波路19-1～19-nを総称する場合は「読出導波路19」といい、光スイッチ15-1～15-nを総称する場合は「光スイッチ15」といい、出力光Pout1～Poutnを総称する場合は「出力光Pouti」という。

[0049] 以上のように構成されたリング共振器30では、光スイッチ15をオン（透過）またはオフ（遮断）させることにより、リング導波路部12を周回する光を読出導波路19から読み出すか否か、すなわち出力光Poutiを出力させるか否かを制御することができる。なお、本実施形態ではすべてのリング導波路部12に読出導波路19を配置する形態を例示して説明したが、むしろ読出導波路19を配置させるリング導波路部12の個数はいくつであってもよい。

[0050] また、リング導波路部12に対する読出導波路19の配置（結合）位置は、図7に示す位置に限られず、例えば、現状の結合位置をリング導波路部12に対して各々反対側としてもよい。また、図7では読出導波路19をリング導波路部12の上部または下部に配置させる形態を例示しているがこれに

限られず、上部または下部からずれた位置に斜めに配置してもよい。さらに、本実施形態において光スイッチ 15 は必須のものではなく、各読出導波路 19 から出力光 *Output* i を常時出力させる場合には省略してもよい。

[0051] 以上のように、本実施形態におけるリング共振器によっても、簡易な構成で、かつ低損失、低ノイズが実現可能なリング共振器を提供することが可能となる。特に本実施形態におけるリング共振器 30 は複数のリング導波路部 12 の各々を周回する光の取り出しを制御することができる。

[0052] なお、上記各実施形態では、リング導波路部 12 が生成する高調波が第 2 高調波の場合について説明したが、これに限られず、リング導波路部 12 の内径 R 、幅 W 、回折格子部 18 における凸部 16 のサイズ（幅 d 、高さ h_2 ）、配列ピッチ P 、傾斜角 θ 等を変更することにより、さらに高次の高調波を発生させることも可能である。

[0053] 本開示は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本開示の技術的範囲に含まれる。

[0054] 本出願は、2021 年 8 月 7 日出願の日本特許出願（特願 2021-130397）に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

産業上の利用可能性

[0055] 本開示によれば、簡易な構成で、かつ低損失、低ノイズが実現可能なリング共振器を提供することができる。

符号の説明

[0056] 10、20、30 リング共振器

11 基板

12、12-1、12-2、12-3、・・・、12-n リング導波路部

13…入力導波路

14…出力導波路

15、15-1、15-2、15-3、 $\dots$ 、15-n 光スイッチ

16 凸部

17 凹部

18 回折格子部

19、19-1、19-2、19-3、 $\dots$ 、19-n 読出導波路

20、20-1、20-2 カプラ

C 円

D1、D2 方向

LP 局所プラズモン

P_{in} 入力光

P_{out}、P_{out'}、P_{out i}、P_{out 1}、P_{out 2}、P_{out 3}
、 $\dots$ 、P_{out n} 出力光

θ 角度

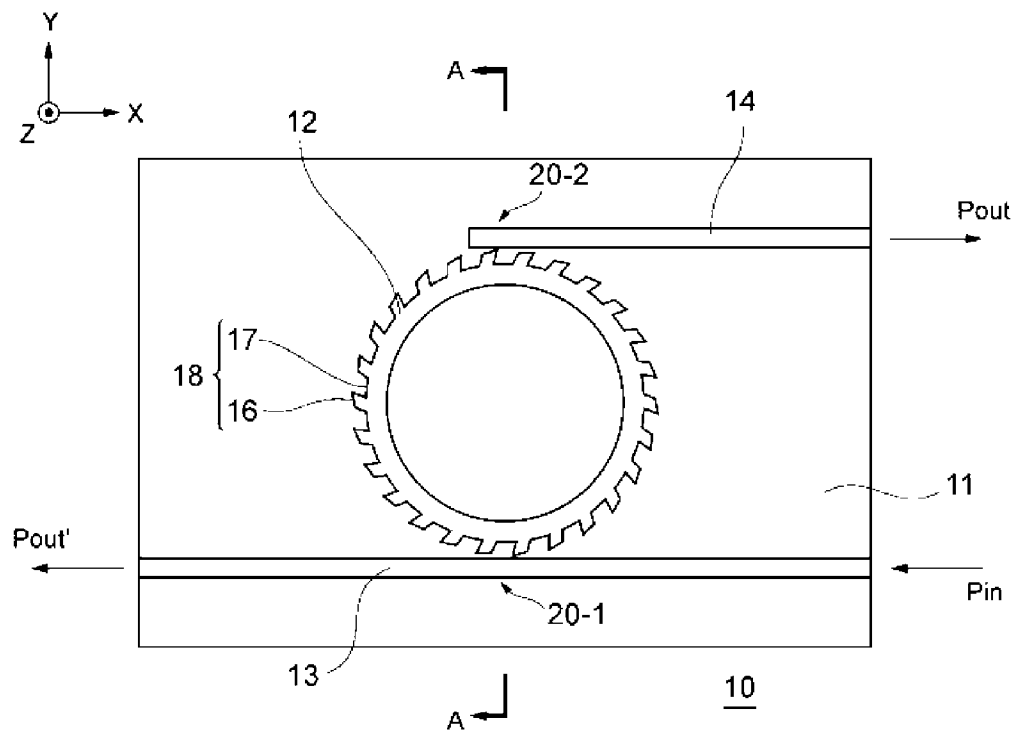
請求の範囲

- [請求項1] 基板と、
前記基板上に環状に光を導波するリング導波路部を備え、
前記リング導波路部は外周に沿って複数の凹部および凸部が周期的に形成された回折格子部を有することを特徴とするリング共振器。
- [請求項2] 前記リング導波路部が非線形光学材料で形成されていることを特徴とする、請求項1に記載のリング共振器。
- [請求項3] 前記凸部の形状がブレード形状、ピラー形状、およびスラント形状のうちのいずれかの形状であることを特徴とする、請求項1または2に記載のリング共振器。
- [請求項4] 前記凸部の形状がスラント形状であり、
前記凸部は前記光導波路を伝搬する光の伝搬方向に傾いていることを特徴とする、請求項3に記載のリング共振器。
- [請求項5] 前記リング導波路部に隣接して配置された入力導波路と、
前記リング導波路部に隣接して配置された出力導波路と、をさらに含むことを特徴とする、請求項1から4の何れか一つに記載のリング共振器。
- [請求項6] 複数の前記リング導波路部が互いに隣接して配置され、
一端の前記リング導波路部に隣接して配置された入力導波路と、
他端の前記リング導波路部に隣接して配置された出力導波路と、をさらに含むことを特徴とする、請求項1から4の何れか一つに記載のリング共振器。
- [請求項7] 少なくとも一つの前記リング導波路部に隣接して配置され、光信号を読み出す読出導波路と、
前記読出導波路に設けられ前記光信号を透過または遮断する光スイッチと、をさらに含むことを特徴とする、請求項6に記載のリング共振器。
- [請求項8] 互いに隣接する複数の前記リング導波路部は、前記凹部および前記

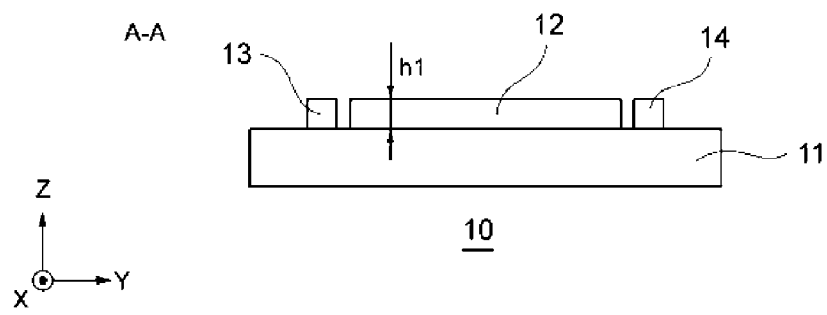
凸部同士が互いに噛み合うように配置されていることを特徴とする、請求項 6 または 7 に記載のリング共振器。

- [請求項 9] 複数の前記リング導波路部の各々の前記凸部の形状がスラント形状であり、
- 互いに隣接する前記複数のリング導波路部の光の伝搬方向が互いに逆方向となっていることを特徴とする、請求項 6 から 8 のいずれか一つに記載のリング共振器。

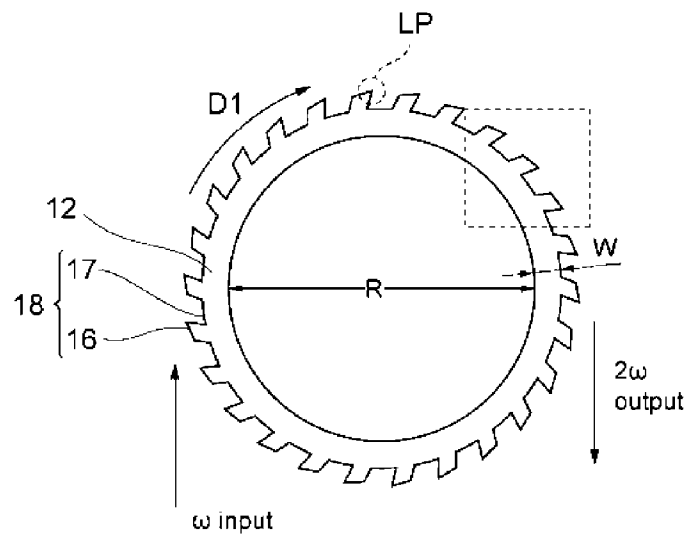
[図1]



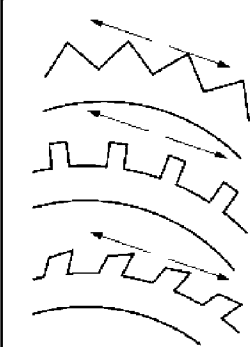
[図2]



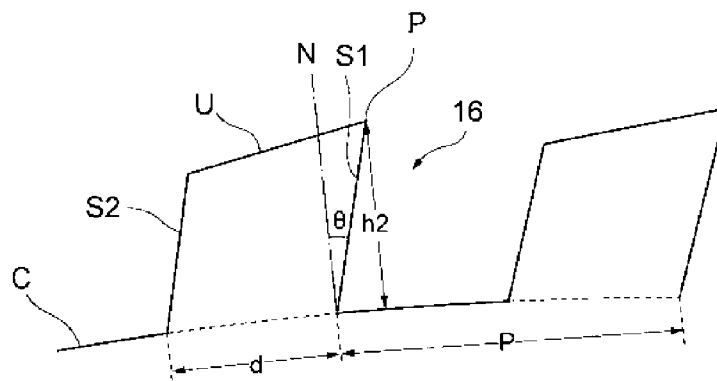
[図3]



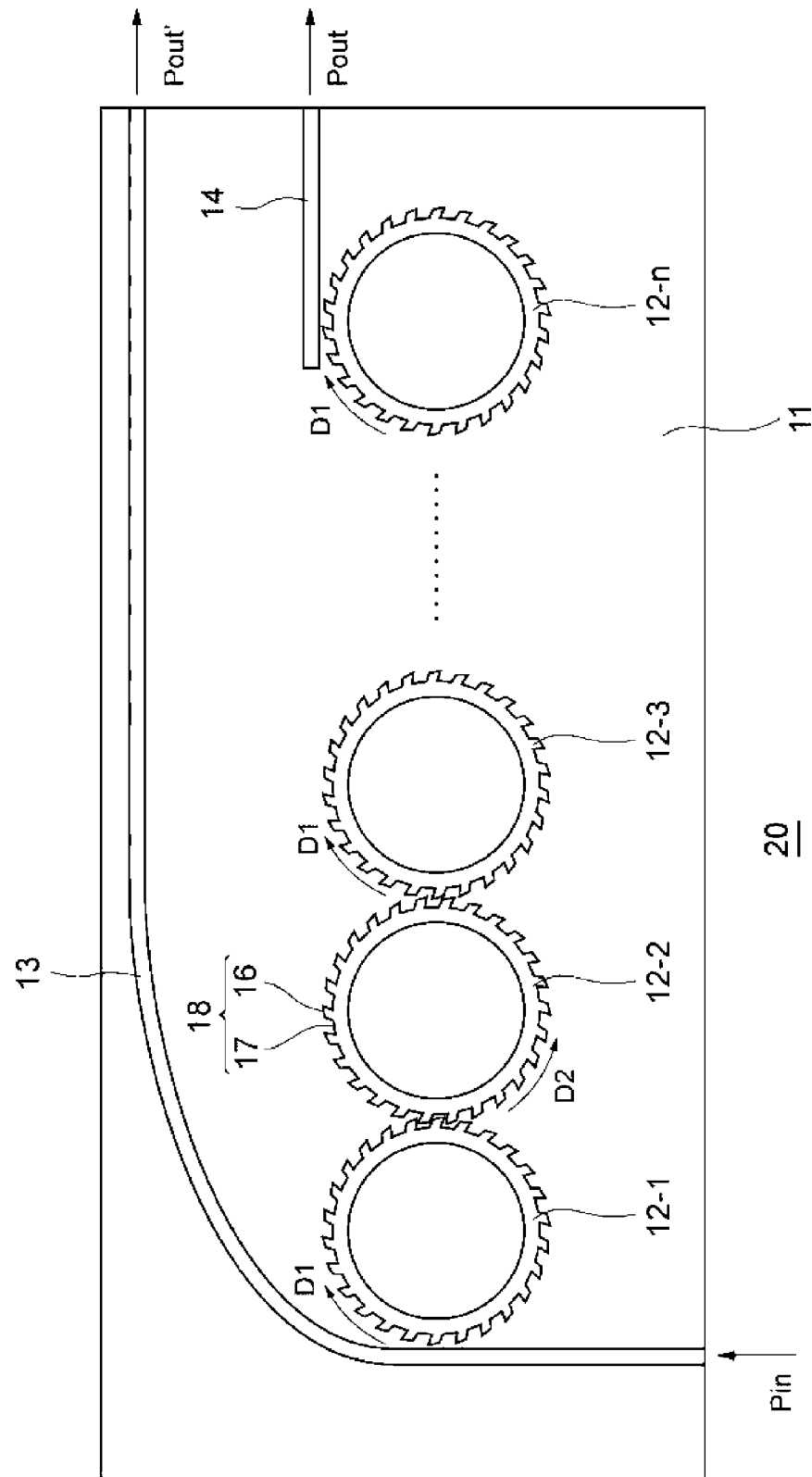
[図4]

	伝搬損失	局所電場
	小	中
	比較的大	比較的小
	小	大

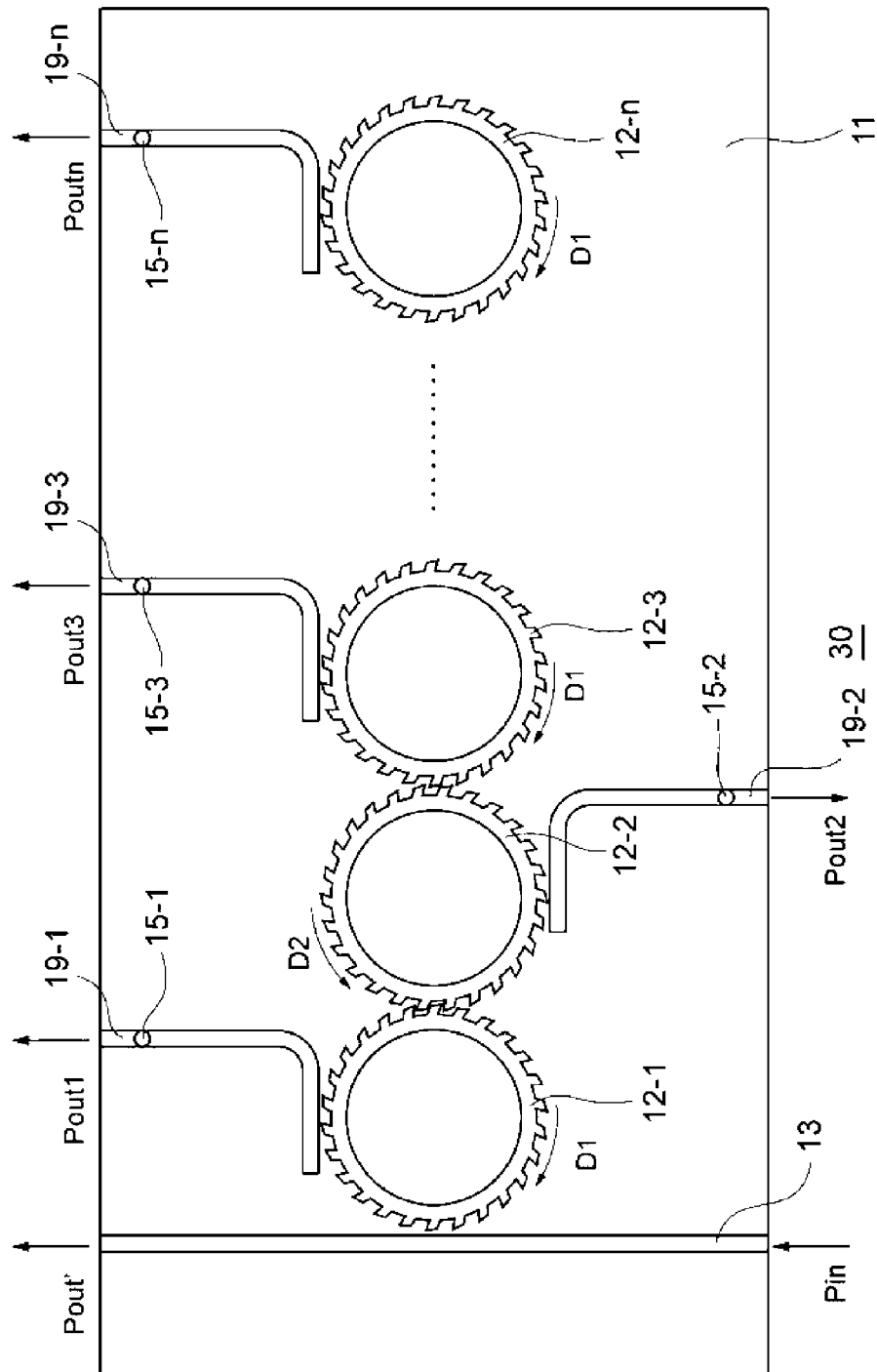
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/027869

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G02F 1/377(2006.01)i; G02B 6/12(2006.01)i; G02B 6/124(2006.01)i; G02B 6/125(2006.01)i FI: G02F1/377; G02B6/125; G02B6/12 371; G02B6/124; G02B6/125 301 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) G02F1/377; G02B6/12; G02B6/124; G02B6/125 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 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)																													
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>US 2018/0191137 A1 (ORACLE INTERNATIONAL CORPORATION) 05 July 2018 (2018-07-05) paragraphs [0029]-[0040], fig. 1A-4B</td> <td>1, 3, 5</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>2, 6-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>4, 8-9</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>WO 2020/221777 A1 (ACONDICIONAMIENTO TARRASENSE (LEITAT)) 05 November 2020 (2020-11-05) specification, p. 18, lines 15-19, fig. 11</td> <td>1, 3, 5</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>2, 6-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>4, 8-9</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>WO 2021/028766 A1 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 18 February 2021 (2021-02-18) paragraphs [0029]-[0049], fig. 1-9</td> <td>1, 3</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	US 2018/0191137 A1 (ORACLE INTERNATIONAL CORPORATION) 05 July 2018 (2018-07-05) paragraphs [0029]-[0040], fig. 1A-4B	1, 3, 5	Y		2, 6-7	A		4, 8-9	X	WO 2020/221777 A1 (ACONDICIONAMIENTO TARRASENSE (LEITAT)) 05 November 2020 (2020-11-05) specification, p. 18, lines 15-19, fig. 11	1, 3, 5	Y		2, 6-7	A		4, 8-9	X	WO 2021/028766 A1 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 18 February 2021 (2021-02-18) paragraphs [0029]-[0049], fig. 1-9	1, 3	Y		2
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																											
X	US 2018/0191137 A1 (ORACLE INTERNATIONAL CORPORATION) 05 July 2018 (2018-07-05) paragraphs [0029]-[0040], fig. 1A-4B	1, 3, 5																											
Y		2, 6-7																											
A		4, 8-9																											
X	WO 2020/221777 A1 (ACONDICIONAMIENTO TARRASENSE (LEITAT)) 05 November 2020 (2020-11-05) specification, p. 18, lines 15-19, fig. 11	1, 3, 5																											
Y		2, 6-7																											
A		4, 8-9																											
X	WO 2021/028766 A1 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 18 February 2021 (2021-02-18) paragraphs [0029]-[0049], fig. 1-9	1, 3																											
Y		2																											
☒ 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 22 August 2022		Date of mailing of the international search report 06 September 2022																											
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/JP2022/027869**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2001-85790 A (TOSHIBA CORP) 30 March 2001 (2001-03-30) paragraphs [0024]-[0039], fig. 1	1, 3
Y		2
Y	JP 2008-298846 A (OKI ELECTRIC IND CO LTD) 11 December 2008 (2008-12-11) paragraph [0048]	2
Y	WO 2007/029647 A1 (NEC CORPORATION) 15 March 2007 (2007-03-15) fig. 1	6-7
A	JP 10-507281 A (DEACON RESEARCH) 14 July 1998 (1998-07-14) fig. 28	1-9
A	US 10451806 B1 (HONEYWELL INTERNATIONAL INC.) 22 October 2019 (2019-10-22) entire text, all drawings	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/027869

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2018/0191137	A1	05 July 2018	(Family: none)	
WO	2020/221777	A1	05 November 2020	US 2022/196650	A1
				EP 3963325	A1
WO	2021/028766	A1	18 February 2021	US 2021/0048726	A1
				US 2021/0200057	A1
				CN 114207960	A
JP	2001-85790	A	30 March 2001	US 6535537	B1
				column 4, line 7 to column 5, line 59, fig. 1A, 1B	
JP	2008-298846	A	11 December 2008	(Family: none)	
WO	2007/029647	A1	15 March 2007	US 2009/0122817	A1
				fig. 1	
JP	10-507281	A	14 July 1998	US 5703710	A
				fig. 28	
				WO 1996/007949	A1
				EP 783719	A1
				KR 10-1997-0705773	A
				CN 1157659	A
US	10451806	B1	22 October 2019	EP 3575837	A1
				CN 110554465	A

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02F 1/377(2006.01)i; G02B 6/12(2006.01)i; G02B 6/124(2006.01)i; G02B 6/125(2006.01)i FI: G02F1/377; G02B6/125; G02B6/12 371; G02B6/124; G02B6/125 301										
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）） G02F1/377; G02B6/12; G02B6/124; G02B6/125										
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2022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	US 2018/0191137 A1 (ORACLE INTERNATIONAL CORPORATION) 05.07.2018 (2018 - 07 - 05) 段落[0029]-[0040], 図1A-4B	1, 3, 5								
Y		2, 6-7								
A		4, 8-9								
X	WO 2020/221777 A1 (ACONDICIONAMIENTO TARRASENSE (LEITAT)) 05.11.2020 (2020 - 11 - 05) 明細書18ページ15-19行, 図11	1, 3, 5								
Y		2, 6-7								
A		4, 8-9								
X	WO 2021/028766 A1 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION) 18.02.2021 (2021 - 02 - 18) 段落[0029]-[0049], 図1-9	1, 3								
Y		2								
☒ 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、一般的技术水準を示すもの “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 22.08.2022		国際調査報告の発送日 06.09.2022								
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） 堀部 修平 2L 9215 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
X	JP 2001-85790 A (株式会社東芝) 30.03.2001 (2001 - 03 - 30)	1, 3
Y	段落[0024]-[0039], 図1	2
Y	JP 2008-298846 A (沖電気工業株式会社) 11.12.2008 (2008 - 12 - 11)	2
Y	段落[0048]	
Y	WO 2007/029647 A1 (日本電気株式会社) 15.03.2007 (2007 - 03 - 15)	6-7
Y	図1	
A	JP 10-507281 A (ディーコン・リサーチ) 14.07.1998 (1998 - 07 - 14)	1-9
A	図28	
A	US 10451806 B1 (HONEYWELL INTERNATIONAL INC.) 22.10.2019 (2019 - 10 - 22)	1-9
A	全文, 全図	

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/JP2022/027869

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
US	2018/0191137	A1	05.07.2018	(ファミリーなし)	
WO	2020/221777	A1	05.11.2020	US	2022/196650 A1
				EP	3963325 A1
WO	2021/028766	A1	18.02.2021	US	2021/0048726 A1
				US	2021/0200057 A1
				CN	114207960 A
JP	2001-85790	A	30.03.2001	US	6535537 B1
				第4欄7行-第5欄59行, 図1A, 1B	
JP	2008-298846	A	11.12.2008	(ファミリーなし)	
WO	2007/029647	A1	15.03.2007	US	2009/0122817 A1
				図1	
JP	10-507281	A	14.07.1998	US	5703710 A
				図28	
				WO	1996/007949 A1
				EP	783719 A1
				KR	10-1997-0705773 A
				CN	1157659 A
US	10451806	B1	22.10.2019	EP	3575837 A1
				CN	110554465 A