

(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
2022年1月27日(27.01.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/019136 A1

- (51) 国際特許分類:
H01P 1/203 (2006.01) *H03B 7/08* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/025773
- (22) 国際出願日: 2021年7月8日(08.07.2021)
- (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 2020-123912 2020年7月20日(20.07.2020) JP
- (71) 出願人: ローム株式会社(ROHM CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町2番地 Kyoto (JP). 国立大学法人大阪大学(OSAKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 富士田 誠之(FUJITA, Masayuki); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). ヘッドラン

ド ダニエル ジョナサン(HEADLAND, Daniel Jonathan); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 永妻忠夫(NAGATSUMA, Tadao); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 西田 陽亮(NISHIDA, Yosuke); 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町2番地 ローム株式会社内 Kyoto (JP).

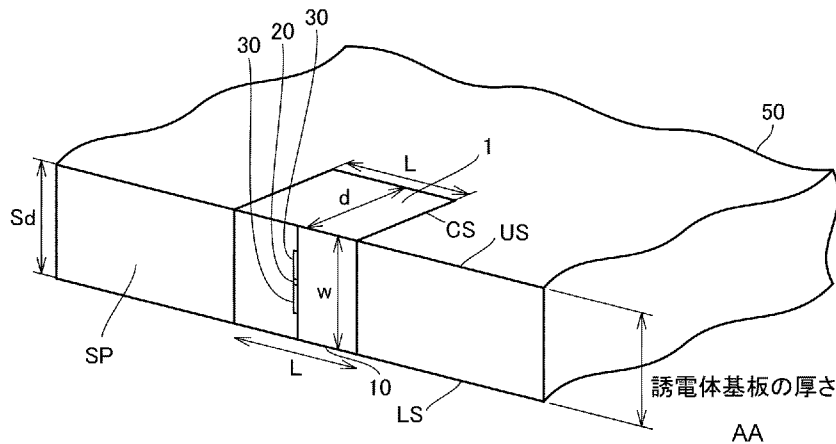
(74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島三丁目2番4号 中之島フェスティバルタワー・ウエスト Osaka (JP).

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,

(54) Title: TERAHERTZ MODULE

(54) 発明の名称: テラヘルツモジュール

FIG.13



AA Thickness of dielectric substrate

(57) Abstract: This terahertz module comprises: a terahertz chip (10) including an active element that emits terahertz waves; and a dielectric substrate (50) connected to the terahertz chip (10). The terahertz chip (10) includes a semiconductor substrate (1). An active element (20) is disposed on the upper surface of the semiconductor substrate (1). Of a plurality of side surfaces of the dielectric substrate (50), a first side surface (SP) has a part in which a cut section (CS) is formed from the upper side to the lower side of the first side surface (SP). The terahertz chip (10) is fitted in such an orientation that the upper surface of the semiconductor substrate (1) is parallel to the first side surface (SP), and the semiconductor substrate (1) is disposed on the inner side of the cut section (CS).

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, 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))

(57) 要約: テラヘルツモジュールは、テラヘルツ波を放射する能動素子を含むテラヘルツチップ(10)と、テラヘルツチップ(10)と結合される誘電体基板(50)とを備える。テラヘルツチップ(10)は、半導体基板(1)を含む。能動素子(20)は、半導体基板(1)の上面に配置される。誘電体基板(50)の複数の側面のうちの第1の側面(SP)の一部に、第1の側面(SP)の上辺から下辺に至るまでの切り込み部(CS)が形成される。テラヘルツチップ(10)は、半導体基板(1)の上面が第1の側面(SP)と平行となり、かつ半導体基板(1)が切り込み部(CS)の奥側に配置されるような向きに嵌め込まれている。

明 細 書

発明の名称： テラヘルツモジュール

技術分野

[0001] 本開示は、テラヘルツモジュールに関する。

背景技術

[0002] 近年、携帯電話など、電磁波を用いた情報通信応用が進んでいる。電磁波を特徴づける値として、周波数と波長とがある。一般に周波数が高いほど大容量の情報を伝送することが可能なため、次世代の携帯電話の規格である5Gでは、28ギガヘルツ帯または39ギガヘルツ帯の電磁波（ミリ波）の利用が検討されている。一方、5Gを超えた超高速無線通信の実現を目指したより高い周波数の電磁波であるテラヘルツ波に関する研究が進展している。テラヘルツ波を利用した応用システムの実用化に向けて、小型集積化が可能な電子デバイスによるテラヘルツ波発生器および検出器の開発が期待されている。

[0003] たとえば、非特許文献1には、テラヘルツチップに金属モード変換機構を介して、誘電体基板であるフォトリソニック結晶の導波路に接続する構成が開示されている。この構成では、0.3THz帯において、テラヘルツチップと誘電体基板との間において最大90%の結合効率を得られることが報告されている。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：XIONGBIN Yu, JAE-YOUNG Kim, MASAYUKI FUJITA, TADAO NAGATSUMA, Vol, 27, No.20/30 September 2019, Optics Express 28707.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 非特許文献1では、テラヘルツチップの厚さをフォトリソニック結晶の厚さの

半分程度にする必要がある。しかしながら、テラヘルツチップをこのような厚さに薄膜化加工するのは、容易ではない。

[0006] それゆえに、本開示の目的は、テラヘルツチップを薄膜化することなく、テラヘルツチップと誘電体基板との間において高い結合効率を得ることができ、テラヘルツモジュールを提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 本開示のテラヘルツモジュールは、テラヘルツ波を放射する能動素子を含むテラヘルツチップと、テラヘルツチップと結合される誘電体基板とを備える。テラヘルツチップは、半導体基板を含み、能動素子は、半導体基板の上面に配置される。誘電体基板の複数の側面のうちの第1の側面の一部に、第1の側面の上辺から下辺に至るまでの切り込み部が形成される。テラヘルツチップは、半導体基板の上面が第1の側面と平行となり、かつ半導体基板が切り込み部の奥側に配置されるような向きに嵌め込まれている。

[0008] 好ましくは、切り込み部は、第1の側面に平行な面を有する。テラヘルツチップは、半導体基板の下面が、第1の側面に平行な切り込み部の面と接触する。

[0009] 好ましくは、テラヘルツチップの厚さは、切り込み部の深さと同じである。

好ましくは、テラヘルツチップの厚さは、切り込み部の深さよりも大きい。

[0010] 好ましくは、誘電体基板は、フォトニック結晶である。

好ましくは、フォトニック結晶には、半導体基板の上面に垂直な方向に前記テラヘルツ波の導波路が形成される。

[0011] 好ましくは、フォトニック結晶に、前テラヘルツ波の定められた周波数成分を通過または除去するフィルタが形成される。

[0012] 好ましくは、フォトニック結晶には、能動素子から放射されたテラヘルツ波を集光する平面レンズが形成される。

[0013] 好ましくは、1列に配置された複数個のテラヘルツチップが、フォトニッ

ク結晶に結合される。

[0014] 好ましくは、能動素子は、共鳴トンネルダイオードである。

発明の効果

[0015] 本開示のテラヘルツモジュールによれば、テラヘルツチップを薄膜化することなく、テラヘルツチップと誘電体基板との間において高い結合効率を得ることができる。

図面の簡単な説明

- [0016] [図1]非特許文献1に記載されたテラヘルツチップ192の斜視図である。
[図2]非特許文献1に記載されたテラヘルツチップ192の上面図である。
[図3]非特許文献1に記載されたテラヘルツモジュールを表わす図である。
[図4]テラヘルツチップ10の外観を表わす図である。
[図5]テラヘルツチップ10を上側から下側方向（－Z方向）に見たときの図である。
[図6]図5におけるRTD20の付近を拡大した図である。
[図7]図6のI－I線に沿う断面図である。
[図8]図6のII－II線に沿う断面図である。
[図9]実施の形態1の誘電体基板50を表わす図である。
[図10]実施の形態1におけるテラヘルツモジュールを表わす図である。
[図11]実施の形態1のテラヘルツモジュールの実装方法の例を表わす図である。
[図12]実施の形態2の誘電体基板50を表わす図である。
[図13]実施の形態2におけるテラヘルツモジュールを表わす図である。
[図14]実施の形態3におけるテラヘルツモジュールを表わす図である。
[図15]フォトリック結晶B1の斜視図である。
[図16]フォトリック結晶B1の平面図である。
[図17]フォトリック結晶B1の断面図である。
[図18]テラヘルツモジュールの第1の応用例を表わす図である。
[図19]テラヘルツモジュールの第2の応用例を表わす図である。

[図20]テラヘルツモジュールの第3の応用例を表わす図である。

[図21]テラヘルツモジュールの第4の応用例を表わす図である。

[図22]テラヘルツモジュールの第5の応用例を表わす図である。

[図23]シミュレーション結果を表わす図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、実施の形態について、図面を参照して説明する。

[従来の構造]

非特許文献1に記載された構造について説明する。

[0018] 図1は、非特許文献1に記載されたテラヘルツチップ192の斜視図である。図2は、非特許文献1に記載されたテラヘルツチップ192の上面図である。図3は、非特許文献1に記載されたテラヘルツモジュールを表わす図である。

[0019] R T D (Resonant Tunneling Diode) は、テラヘルツ帯の周波数の高周波電磁波（テラヘルツ波）を発振する。R T Dは、超高感度な検出器として動作させることもできる。M I M (Metal Insulator Metal) は、テラヘルツ波を反射させる反射鏡として動作する。テラヘルツモジュールは、テラヘルツチップ192とフォトニック結晶とを結合させて構成される。

[0020] 導電路139a、139bは、方向xに向かうにつれて方向yにおける寸法が大きくなるテーパ状を呈する。これによって、テラヘルツチップとフォトニック結晶の導波路のスケールの相違による問題を解消して、高い結合率を得ることができる。

[0021] 対称性および放射損失を低減するために、テラヘルツチップ192の表面にI n P基板191が配置される。

[0022] 高い結合率を得るためには、テラヘルツチップ192の厚さdをフォトニック結晶の厚さ（200 μ m）の半分程度（100 μ m）にする必要がある。なぜなら、フォトニック結晶の厚さ方向の中央部において、結合効率が最も大きくなるためである。テラヘルツ波の周波数を増加させると、テラヘルツ波の波長が短くなるので、テラヘルツチップ192の厚さdを小さくしな

ければならず、加工するのが容易ではない。

[0023] [実施の形態1]

図4～図8を用いて、テラヘルツモジュール構成を説明する。

[0024] 図4は、テラヘルツチップ10の外観を表わす図である。

テラヘルツチップ10は、幅 w 、長さ L 、厚さ d を有する。テラヘルツチップ10の幅 w の方向を x 方向、テラヘルツチップ10の長さ L の方向を y 方向、テラヘルツチップ10の厚さ d の方向を z 方向とする。

[0025] テラヘルツチップ10において、半導体基板であるInP基板1の上面（表面）にRTD20およびスロット30が配置される。図4に示すように、テラヘルツチップの厚さ方向（ $-z$ 方向）にテラヘルツ波が伝搬される。

[0026] テラヘルツチップ10の底面をInP基板1の下面（裏面）とする。

図5は、テラヘルツチップ10を上側から下側方向（ $-z$ 方向）に見たときの図である。図6は、図5におけるRTD20の付近を拡大した図である。

[0027] 厚さ方向（ z 方向）において上部電極4と下部電極2との間にあり、 y 方向において、上部電極4と下部電極2とを横断する領域にシャント抵抗SR1、SR2が形成されている。シャント抵抗SR1、SR2は、寄生発振を抑制する機能を有する。

[0028] 厚さ方向（ z 方向）において、上部電極4の下側に、スロット30、RTD20が形成されている。

[0029] 厚さ方向（ z 方向）において上部電極4と下部電極2との間にあり、 y 方向において、上部電極4と下部電極2とが重なる部分にMIMキャパシタ6a、6bが形成される。

[0030] 図7は、図6のI-I線に沿う断面図である。InP基板1の面（上面および下面）に垂直な方向が z 方向である。

[0031] RTD20は、半導体基板であるInP基板1の上面に配置され、 n 型不純物を高濃度にドーピングされたGaInAs層91aと、GaInAs層91aの上面に配置され、 n 型不純物をドーピングされたGaInAs層92aと、

GaInAs層92aの上面に配置されたアンドープのGaInAs層93aと、GaInAs層93aの上面に配置されたAlAs層94aと、AlAs層94aの上面に配置されたGaInAs層95と、GaInAs層95の上面に配置されたAlAs層94bと、AlAs層94bの上面に配置されたアンドープのGaInAs層93bと、GaInAs層93bの上面に配置され、n型不純物をドーピングされたGaInAs層92bと、GaInAs層92bの上面に配置され、n型不純物を高濃度にドーピングされたGaInAs層91bとからなる。

[0032] RTD20の横側には、SiO₂膜98a、98bが堆積される。

GaInAs層91bの上面に上部電極4が配置される。

[0033] GaInAs層91aの上面およびInP基板1の上面に下部電極2が配置される。

ここで、各層の厚さは、例えば、以下の通りであるが、これに限定されるものではない。

[0034] n+型のGaInAs層91a、91bの厚さは、それぞれ例えば、約400nm、15nm程度である。n型のGaInAs層92aおよび92bの厚さは、略等しく、例えば、約25nm程度である。アンドープGaInAs層93a、93bの厚さは、約2nm、20nm程度である。AlAs層94aおよび94bの厚さは、等しく、例えば、約1.1nm程度である。GaInAs層95の厚さは、例えば、約4.5nm程度である。InP基板1の厚さは、数100μm程度である。

[0035] 上部電極4および下部電極2は、いずれも例えば、Au/Pd/TiまたはAu/Tiのメタル積層構造からなる。Ti層は、半絶縁性のInP基板1との接触状態を良好にするためのバッファ層である。上部電極4および下部電極2の各部の厚さは、例えば、約数100nm程度であり、全体として、平坦化された積層構造が得られている。上部電極4および下部電極2は、いずれも真空蒸着法、またはスパッタリング法などによって形成することができる。

[0036] 上述したように、RTD20は、InP基板1の上面に配置される。RTD20は、下部電極2と上部電極4との間において共振器を形成する。RTD20から放射された電磁波は、InP基板1の上面に垂直方向の面発光放射パターンを有する。

[0037] 図8は、図6のI-I線に沿う断面図である。

MIMキャパシタ6a、6bは、厚さ方向（z方向）において、上部電極4と下部電極2との間にあり、y方向において、上部電極4と下部電極2とが重なる部分に配置されるSiO₂膜98によって形成される。

[0038] 図9は、実施の形態1の誘電体基板50を表わす図である。

誘電体基板50は、テラヘルツ波の偏光機能、周波数フィルタ機能、および平面レンズなどの機能を実現することができる。誘電体基板50は、たとえば、フォトリソグラフィなどの誘電体によって構成される。誘電体基板50に展開される回路デバイスは、金属配線を利用しないため、周波数の高いテラヘルツ帯において、低損失なシステムを実現することができる。

[0039] 誘電体基板50の厚さはSdである。誘電体基板50の複数の側面のうちの第1の側面SPに切り込み部CSが形成される。切り込み部CSは、第1の側面SPの上辺USから下辺LSに至るまでに第1の側面SPに対して垂直方向に形成されている。

[0040] 切り込み部CSは、直方体の形状である。切り込み部CSの長さがLであり、幅がwであり、深さがd2である。w=Sd、d2<dである。切り込み部CSは、面71Pと、面72Pと、面73Pとを有する。面71Pは、第1の側面SPと平行である。面72Pおよび面73Pは、第1の側面SPに対して垂直である。

[0041] 図10は、実施の形態1におけるテラヘルツモジュールを表わす図である。

テラヘルツモジュールは、テラヘルツチップ10と、テラヘルツチップ10と結合される誘電体基板50とを備える。

[0042] 誘電体基板50の切り込み部CSに、テラヘルツチップ10が嵌め込まれ

ている。テラヘルツチップ10は、InP基板1の上面が切り込み部CSの第1の側面SPと平行となり、InP基板1が切り込み部CSの奥側に配置されるような向きに嵌め込まれている。テラヘルツチップ10の底面（InP基板1の下面（裏面））が面71Pと接触する。テラヘルツチップ10の2つの側面が、切り込み部CSの2つの面72P、73Pとそれぞれ接触する。

[0043] テラヘルツチップ10の厚さdは、切り込み部CSの深さd2よりも大きい。したがって、テラヘルツチップ10の最も上側の面は、誘電体基板50の外側に配置される。

[0044] 本実施の形態では、テラヘルツチップ10の厚さは、任意に設定することができる。テラヘルツチップ10の厚さ方向が、誘電体基板50の表面方向と同じ方向なるので、テラヘルツチップ10を薄膜化する必要がなくなる。

[0045] シミュレーション結果によれば、本実施の形態のテラヘルツモジュールは、従来例のテラヘルツモジュールと同様に、90%の結合効率を得ることができることが示されている。

[0046] 図11は、実施の形態1のテラヘルツモジュールの実装方法の例を表わす図である。

誘電体基板50の溝84の部分が第1の側面SPに相当する。図示しないが、第1の側面SPに切り込み部CSが形成されて、テラヘルツチップ10が嵌め込まれている。

[0047] マイクロ波回路基板80は、金属層80aと樹脂層80bとを備える。同軸コネクタ70からマイクロ波回路基板80の金属層80aに信号および電圧が伝送される。これらの信号および電圧は、さらに、ボンディングワイヤ90を通じてテラヘルツチップ10に送られる。

[0048] 以上のように、本実施の形態によれば、誘電体基板の側面に形成された切り込み部にテラヘルツチップを嵌め込んで、テラヘルツチップと誘電体基板とを結合することによって、テラヘルツチップを薄膜化加工することなく、テラヘルツチップと誘電体基板との間で高い結合効率を得ることができる。

[0049] [実施の形態2]

図12は、実施の形態2の誘電体基板50を表わす図である。

[0050] 誘電体基板50の厚さは S_d である。誘電体基板50の第1の側面SPに切り込み部CSが形成される。切り込み部CSは、第1の側面SPの上辺USから下辺LSに至るまでに第1の側面SPに対して垂直方向に形成されている。形成される。

[0051] 切り込み部CSは、直方体の形状である。切り込み部CSの長さが L であり、幅が w であり、深さが d である。 $w = S_d$ である。切り込み部CSは、面74Pと、面75Pと、面76Pとを有する。面74Pは、第1の側面SPと平行である。面75Pおよび面76Pは、第1の側面SPに対して垂直である。

[0052] 図13は、実施の形態2におけるテラヘルツモジュールを表わす図である。

テラヘルツモジュールは、テラヘルツチップ10と、テラヘルツチップ10と結合される誘電体基板50とを備える。

[0053] 誘電体基板50の切り込み部CSに、テラヘルツチップ10が嵌め込まれている。テラヘルツチップ10は、InP基板1の上面が切り込み部CSの第1の側面SPと平行となり、InP基板1が切り込み部CSの奥側に配置されるような向きに嵌め込まれている。テラヘルツチップ10の底面(InP基板1の下面(裏面))が面74Pと接触する。テラヘルツチップ10の2つの側面が、切り込み部CSの2つの面75P、76Pとそれぞれ接触する。

[0054] テラヘルツチップ10の厚さ d は、切り込み部CSの深さ d と等しい。したがって、テラヘルツチップ10の最も上側の面は、誘電体基板50の第1の側面SPと接続する。

[0055] 本実施の形態でも、実施の形態1と同様に、テラヘルツチップ10の厚さは、任意に設定することができる。テラヘルツチップ10の厚さ方向が、誘電体基板50の表面方向と同じ方向なので、テラヘルツチップ10を薄膜

化する必要がなくなる。

[0056] [実施の形態3]

図14は、実施の形態3におけるテラヘルツモジュールを表わす図である。

[0057] 実施の形態2と同様に、誘電体基板50の切り込み部CSにテラヘルツチップ10が嵌め込まれている。テラヘルツチップ10には、ボータイアンテナが形成される。

[0058] テラヘルツチップ10は、アンテナ電極4Bおよび2Bと、第1伝送線路（スロット）40Sおよび20Sと、RTD20と、第2伝送線路（スロット）40Fおよび20Fと、パッド電極40Pおよび20Pと、低域通過フィルタ9とを備える。

[0059] アンテナ電極4Bおよび2Bは、自由空間に対してテラヘルツ波を送受信することができる。第1伝送線路40Sおよび20Sは、アンテナ電極4Bおよび2Bに接続され、テラヘルツ波を伝送することができる。

[0060] RTD20の主電極がそれぞれ第1伝送線路40Sおよび20Sに接続される。

第2伝送線路40Fおよび20Fは、RTD20に接続され、テラヘルツ波を伝送することができる。

[0061] パッド電極40Pおよび20Pは、第2伝送線路40Fおよび20Fに接続される。

低域通過フィルタ9は、パッド電極40Pおよび20Pに接続される。

[0062] 第1伝送線路40Sおよび20Sのインピーダンス変換により、アンテナ電極4Bおよび2Bと、RTD20との間をインピーダンス整合することができる。パッド電極20Pおよび40Pは、バイアス電源およびデータ信号供給用電極を構成可能である。

[0063] 低域通過フィルタ9は、MIMリフレクタを備えていても良い。パッド電極40Pとパッド電極20Pとの間に接続された抵抗素子を設けても良い。抵抗素子は、金属配線を備えていても良い。金属配線は、ビスマス、ニッケ

ル、チタン、若しくは白金を備えていても良い。

[0064] ボータイアンテナのアンテナ電極4Bと2Bの間隔は、伝送線路（スロット線路）間隔と実質的に等しい。

[0065] RTD20の断面は、実施の形態1の図7において説明したものと同様である。

実施の形態1のスロットアンテナに代えて、テラヘルツチップがボータイアンテナを備える場合においても、実施の形態1と同様の効果が得られる。

[0066] [実施の形態4]

本実施の形態において、上記の実施形態において説明したテラヘルツモジュールの応用例を説明する。

[0067] 誘電体基板50として、フォトニック結晶B1を用いることができる。

図15は、フォトニック結晶B1の斜視図である。図16は、フォトニック結晶B1の平面図である。図17は、フォトニック結晶B1の断面図である。

[0068] フォトニック結晶B1は、たとえば、二次元フォトニック結晶スラブと称される。フォトニック結晶B1は、たとえば、半導体材料により構成される。フォトニック結晶B1を構成する半導体材料としては、たとえば、Si、GaAs、InP、GaN、GaInAsP/InP、InGaAs/GaAs、GaAlAs/GaAs、GaInNAs/GaAs、GaAlInAs/InP、AlGaInP/GaAs、およびGaInN/GaNなどである。図15および図16において、フォトニック結晶B1の平面視の形状は矩形状であるが、台形状、または他の形状であってもよい。

[0069] フォトニック結晶B1は、表面41および裏面42を有する。表面41および裏面42いずれも平坦である。フォトニック結晶B1の第1の側面SPの切り込み部（図示は省略）にテラヘルツチップ10が嵌め込まれる。

[0070] フォトニック結晶B1は、複数の格子点31を含む。複数の格子点31は、フォトニック結晶B1のフォトニックバンド構造のフォトニックバンドギャップ帯におけるテラヘルツ波を回折させる。複数の格子点31は、フォト

ニック結晶B 1のXY平面において周期的に配置されている。複数の格子点3 1は各々、たとえば、孔により構成される。図1 7に示すように、孔は、フォトニック結晶B 1を貫通しており、表面4 1から裏面4 2に至っている。図1 5および図1 6では、孔の形状は円形であるが、多角形または楕円形であってもよい。また、図1 5および図1 6では、正方格子の周期配列が示されているが、長方格子、三角格子、または蜂の巣格子などの2次元的な周期配列であってもよい。

[0071] 格子点3 1の格子定数を調整することによって、テラヘルツ波の屈折率を変化させることができる。これによって、テラヘルツ波の伝搬経路を制御することができる。たとえば、伝送経路を直線、曲げ、分岐（分波）、交差、方向性結合（合波）することができる。また、フォトニック結晶B 1は、屈折率閉じ込め構造を利用したコンパクトな伝送路、フィルタ、レンズなどの非線形光学素子、アンテナなどを平面集積化することができる。

[0072] 以下では、誘電体基板5 0として、フォトニック結晶B 1を用いた5つの応用例を説明する。

[0073] 図1 8は、テラヘルツモジュールの第1の応用例を表わす図である。

誘電体基板5 0は、格子点3 1の格子定数を調整して屈折率分布を形成することによって、テラヘルツ波の誘電体導波路1 1 0を形成することができる。誘電体導波路1 1 0は、InP基板1の上面及び下面に垂直方向に形成される。InP基板1の上面および下面は、誘電体基板5 0の第1の側面SP、切り込み部CSの面7 1 P、および切り込み部CSの面7 4 Pと平行である。

[0074] 図1 9は、テラヘルツモジュールの第2の応用例を表わす図である。

誘電体基板5 0は、格子点の格子定数を調整して屈折率分布を形成することによって、平面レンズ1 1 2を形成することができる。図1 9に示すように、テラヘルツチップ1 0から放射されたテラヘルツ波が平面レンズ1 1 2によって集光される。

[0075] なお、誘電体基板5 0は、格子点の格子定数を調整することによって、平

面レンズ 112 ではなく、テラヘルツ波を反射する反射鏡、またはテラヘルツ波の定められた周波数成分を通過または除去するフィルタなどを形成することができる。

[0076] 図 20 は、テラヘルツモジュールの第 3 の応用例を表わす図である。

複数のテラヘルツチップ 10 を 1 列に配置して、フォトニック結晶に結合することによって、テラヘルツチップアレイが形成される。複数のテラヘルツチップ 10 は、駆動電圧の相違によって、互いに別個の周波数のテラヘルツ波を放射する。複数のテラヘルツチップ 10 から放射されたテラヘルツ波が平面レンズ 112 によって集光され、出力用導波路 119 を通じて出力される。

[0077] 図 21 は、テラヘルツモジュールの第 4 の応用例を表わす図である。

フォトニック結晶に形成されたフィルタによって、周波数多重化を実現することができる。周波数に応じて、合波または分波が可能となる。

[0078] 複数のテラヘルツチップ 10 は、互いに別個の周波数のテラヘルツ波を放射する。

複数のテラヘルツチップ 10 から放射されたテラヘルツ波が分波器 181 によって分波され、複数の導波路 183 へ送られる。複数の導波路 183 から出力された複数の周波数のテラヘルツ波は、合波器 182 によって多重化される。多重化されたテラヘルツ波はアンテナへ出力される。

[0079] 図 22 は、テラヘルツモジュールの第 5 の応用例を表わす図である。

フォトニック結晶に、共振器 117、カップラ 133、ミキサ 132、吸収体 134 が形成される。

[0080] 局部発振器 131 は、複数のテラヘルツチップ 10 が 1 列に配置されたアレイと、合成レンズ 115 と、高い Q 値を有する共振器 117 とを備える。

[0081] 局部発振器 131 から放射された局部発振信号 LO の一部が、吸収体 134 へ送られ、残りが、カップラ 133 へ送られる。吸収体 134 によって、局部発振信号 LO が反射されるのを防止することができる。

[0082] カップラ 133 は、局部発振信号 LO をミキサ 132 へ送り、ミキサ 13

2から出力された変調信号RFを通さない。

[0083] ミキサ132は、中間周波数信号IFと局部発振信号LOとを混合することによって、変調信号RFを生成して、アンテナへ放射する。

[0084] [シミュレーション]

次に、シミュレーションの結果を説明する。

[0085] 図23は、シミュレーション結果を表わす図である。

図23において、図11に示すマイクロ波回路基板80を設けた場合の透過率と、マイクロ波回路基板80を設けなかった場合の透過率が表されている。図23に示すように、両者の差は、約1dB程度である。マイクロ波回路基板80を設けることによる透過率への影響は十分に小さいことが示される。

[0086] [変形例]

本開示は、上記の実施形態に限定されるものではない。たとえば、以下のような変形例も含む。

[0087] (1) 上記の実施形態では、能動素子の例としてRTDを用いたが、これ以外のダイオードまたはトランジスタでも構成可能である。例えば、能動素子として、タンネット(TUNNETT: Tunnel Transit Time)ダイオード、インパット(IMPAT: Impact Ionization Avalanche Transit Time)ダイオード、GaAs系電界効果トランジスタ(FET: Field Effect Transistor)、GaN系FET、高電子移動度トランジスタ(HEMT: High Electron Mobility Transistor)、ヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT: Heterojunction Bipolar Transistor)若しくはCMOS(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)FETなどを用いることもできる。

[0088] (2) テラヘルツチップは、第1トンネルバリア層/量子井戸(QW: Quantum Well)層/第2トンネルバリア層が、AlAs/GaInAs/AlAsの構成を有する例が示されているが、このような材料系に限定されるものではない。例えば、第1トンネルバリア層/量子井戸層/第2トンネルバ

リア層が、 $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}/\text{AlGaAs}$ の構成を有する例であっても良い。また、第1トンネルバリア層／量子井戸層／第2トンネルバリア層が、 $\text{AlGaN}/\text{GaN}/\text{AlGaN}$ の構成を有する例であっても良い。また、第1トンネルバリア層／量子井戸層／第2トンネルバリア層が、 $\text{SiGe}/\text{Si}/\text{SiGe}$ の構成を有する例であっても良い。

[0089] (3) 上記の実施形態では、テラヘルツチップは、スロットアンテナ、またはボータイアンテナを備えるものとしたが、これに限定するものではない。テラヘルツチップが備えるアンテナは、電波（テラヘルツ波）が基板の垂直方向に放射するようなものであれば、その形状は問わない。たとえば、テラヘルツチップは、パッチアンテナ、ダイポールアンテナ、またはリングアンテナ等の平面アンテナを備えるものとしてもよい。

[0090] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本開示の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0091] 1, 191 InP基板、2 下部電極、4 上部電極、4B アンテナ電極、6a, 6b MIMキャパシタ、9 低域通過フィルタ、10, 192 テラヘルツチップ、20 RTD、30 スロット、20P, 40P パッド電極、31 格子点、40F 第2伝送線路、40S 第1伝送線路、41 表面、42 裏面、50 誘電体基板、70 同軸コネクタ、71P, 72P, 73P, 74P, 75P, 76P 面、80 マイクロ波回路基板、80a マイクロ波回路基板の金属層、80b マイクロ波回路基板の樹脂層、84 溝、90 ボンディングワイヤ、91a, 91b, 92a, 92b, 93a, 93b, 94a, 94b, 95 層、98, 98a, 98b SiO_2 膜、110 誘電体導波路、112 平面レンズ、115 合成レンズ、117 共振器、119 出力用導波路、131 局部発振器、132 ミキサ、133 カップラ、134 吸収体、139a, 139b

導電路、181 分波器、182 合波器、183 導波路、B1 フォ
トニック結晶、CS 切り込み部、LS 下辺、SP 側面、SR1, SR
2 シャント抵抗、US 上辺。

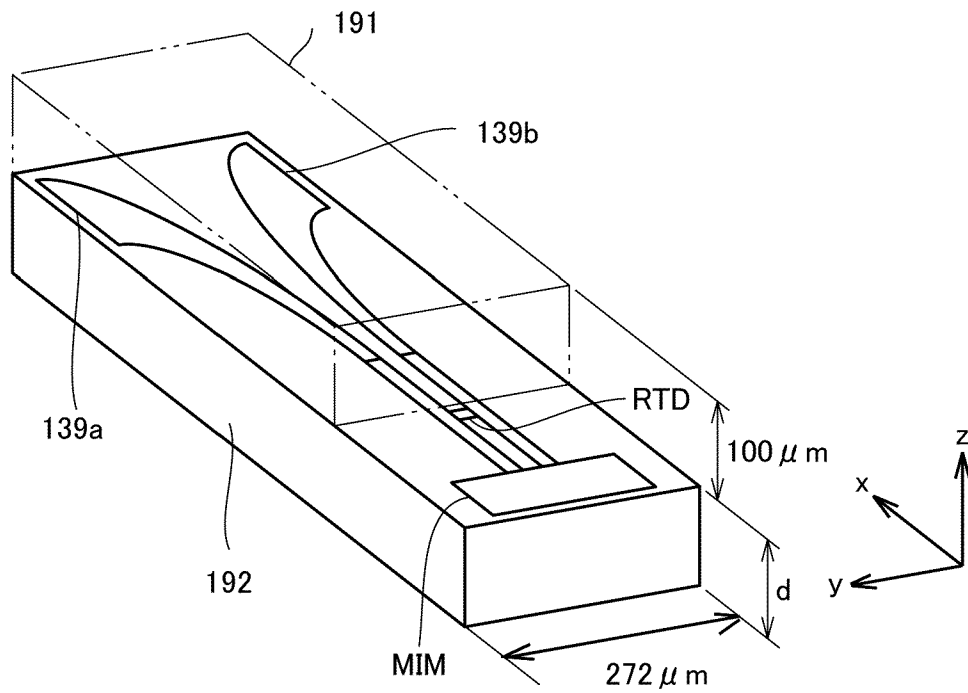
請求の範囲

- [請求項1] テラヘルツ波を放射する能動素子を含むテラヘルツチップと、
 前記テラヘルツチップと結合される誘電体基板とを備え、
 前記テラヘルツチップは、半導体基板を含み、前記能動素子は、前記半導体基板の上面に配置され、
 前記誘電体基板の複数の側面のうちの第1の側面の一部に、前記第1の側面の上辺から下辺に至るまでの切り込み部が形成され、
 前記テラヘルツチップは、前記半導体基板の上面が前記第1の側面と平行となり、かつ前記半導体基板が前記切り込み部の奥側に配置されるような向きに嵌め込まれている、テラヘルツモジュール。
- [請求項2] 前記切り込み部は、前記第1の側面に平行な面を有し、
 前記半導体基板の下面が、前記第1の側面に平行な前記切り込み部の面と接触する、請求項1記載のテラヘルツモジュール。
- [請求項3] 前記テラヘルツチップの厚さは、前記切り込み部の深さと同じである、請求項1または2記載のテラヘルツモジュール。
- [請求項4] 前記テラヘルツチップの厚さは、前記切り込み部の深さよりも大きい、請求項1または2記載のテラヘルツモジュール。
- [請求項5] 前記誘電体基板は、フォトニック結晶である、請求項1～4のいずれか1項に記載のテラヘルツモジュール。
- [請求項6] 前記フォトニック結晶には、前記半導体基板の上面に垂直な方向に前記テラヘルツ波の導波路が形成される、請求項5記載のテラヘルツモジュール。
- [請求項7] 前記フォトニック結晶に、前記テラヘルツ波の定められた周波数成分を通過または除去するフィルタが形成される、請求項5記載のテラヘルツモジュール。
- [請求項8] 前記フォトニック結晶には、前記能動素子から放射された前記テラヘルツ波を集光する平面レンズが形成される、請求項5記載のテラヘルツモジュール。

- [請求項9] 1 列に配置された複数個の前記テラヘルツチップが、前記フォトリソグラフィック結晶に結合される、請求項 5 記載のテラヘルツモジュール。
- [請求項10] 前記能動素子は、共鳴トンネルダイオードである、請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載のテラヘルツモジュール。

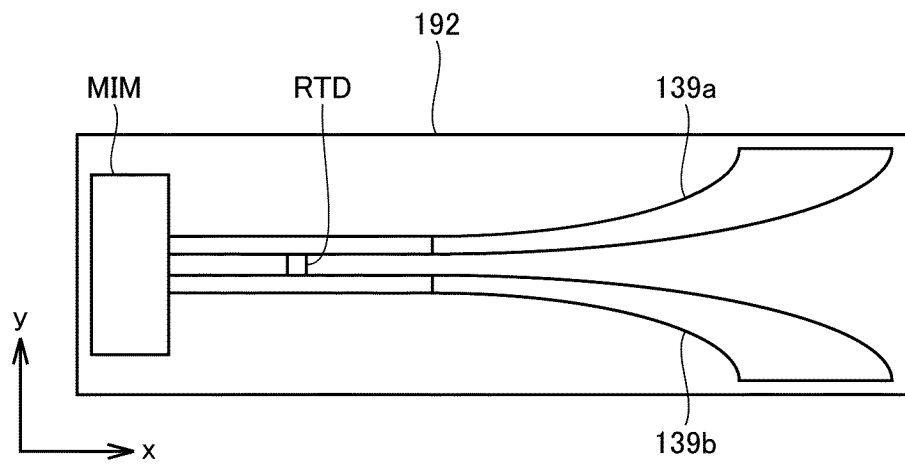
[図1]

FIG.1



[図2]

FIG.2



[図3]

FIG.3

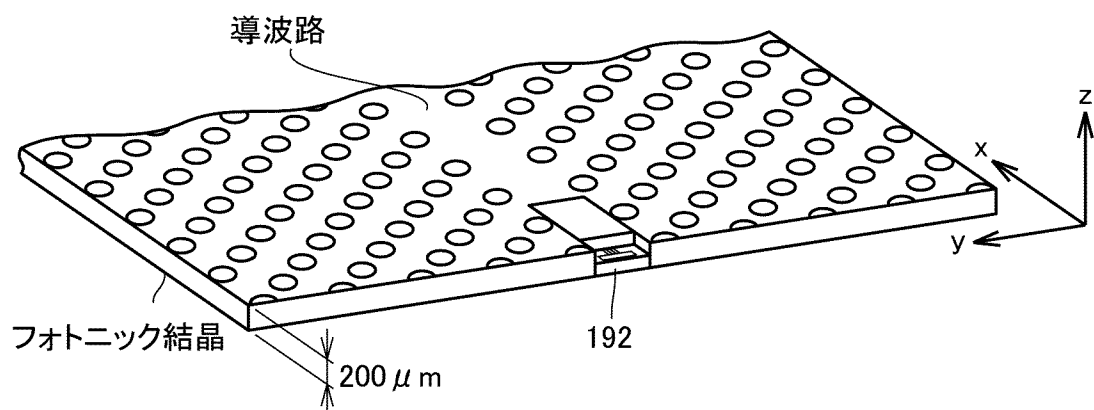
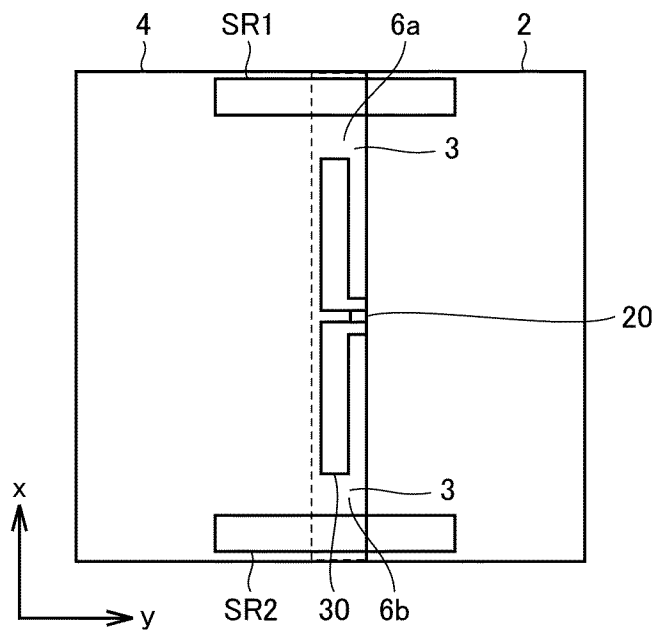
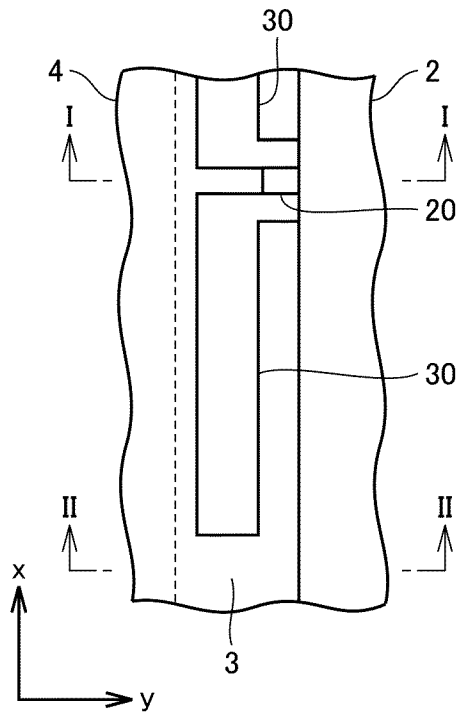


FIG.4



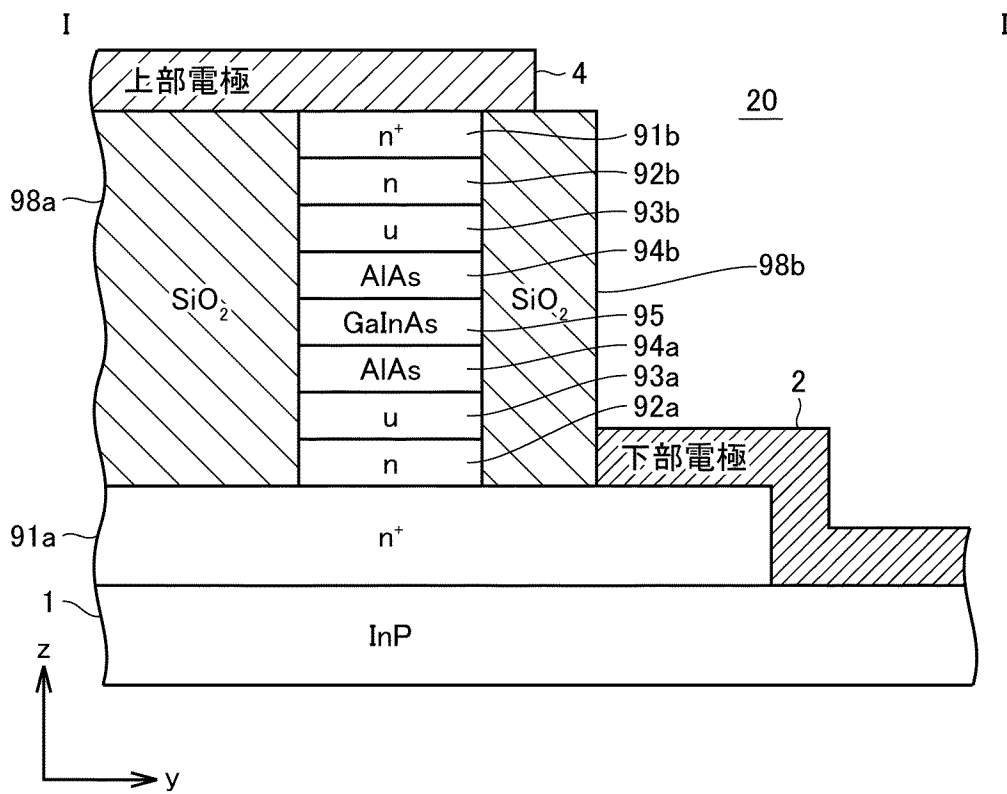
[図6]

FIG.6



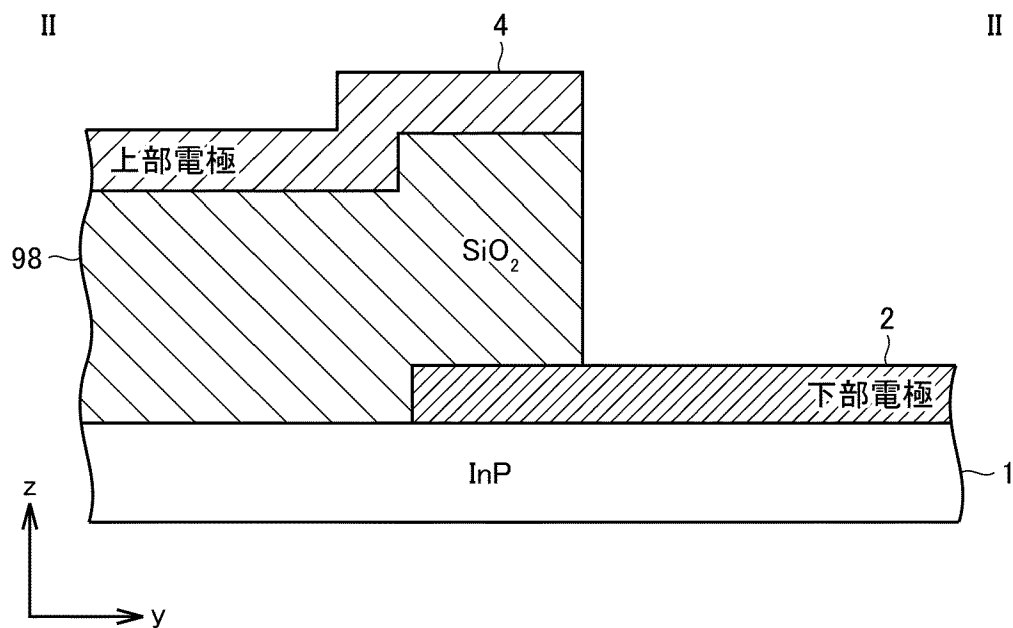
[図7]

FIG.7



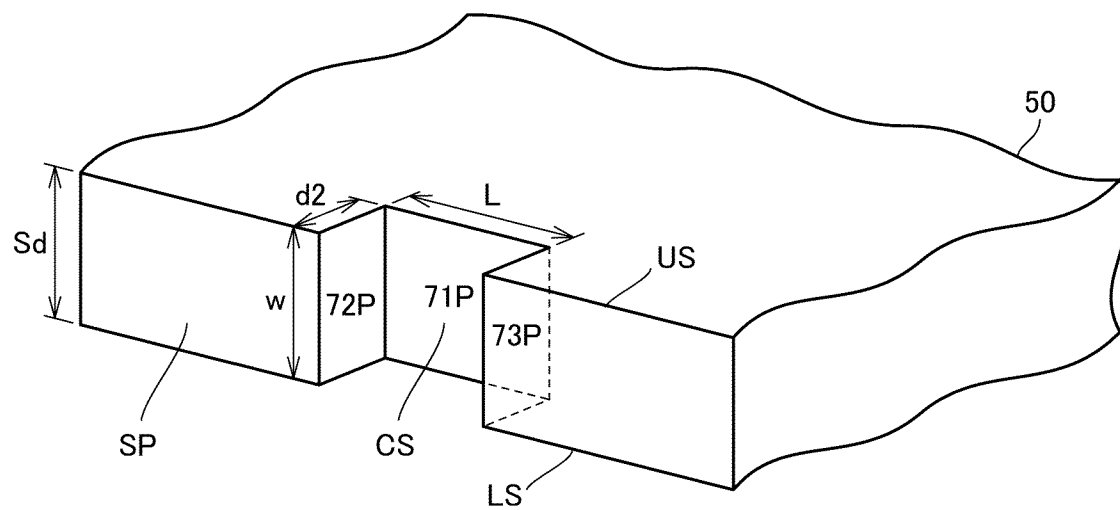
[図8]

FIG.8



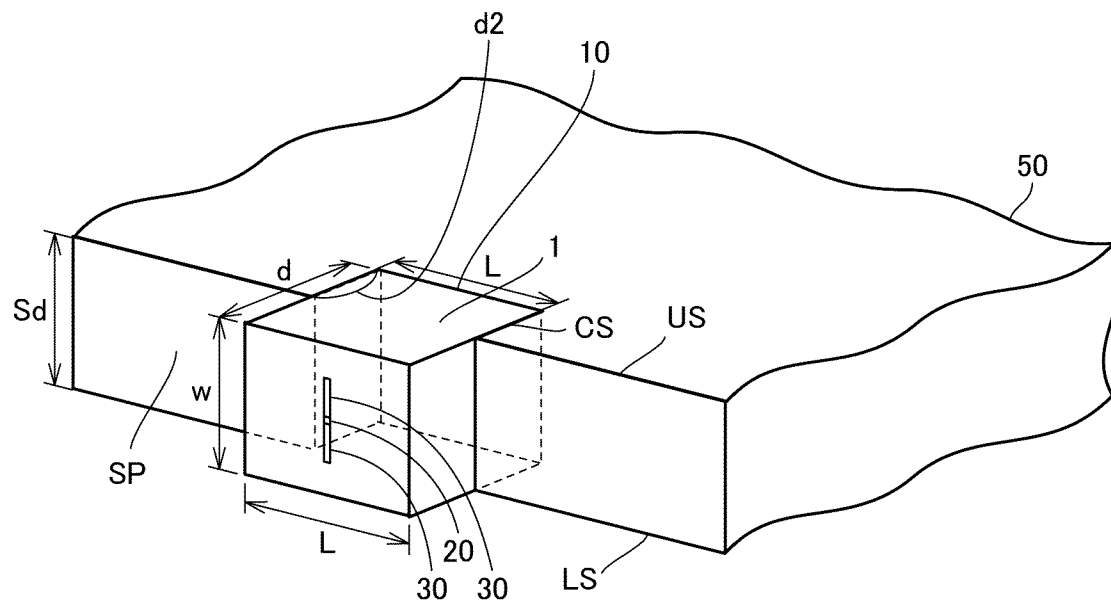
[図9]

FIG.9



[図10]

FIG.10



[図11]

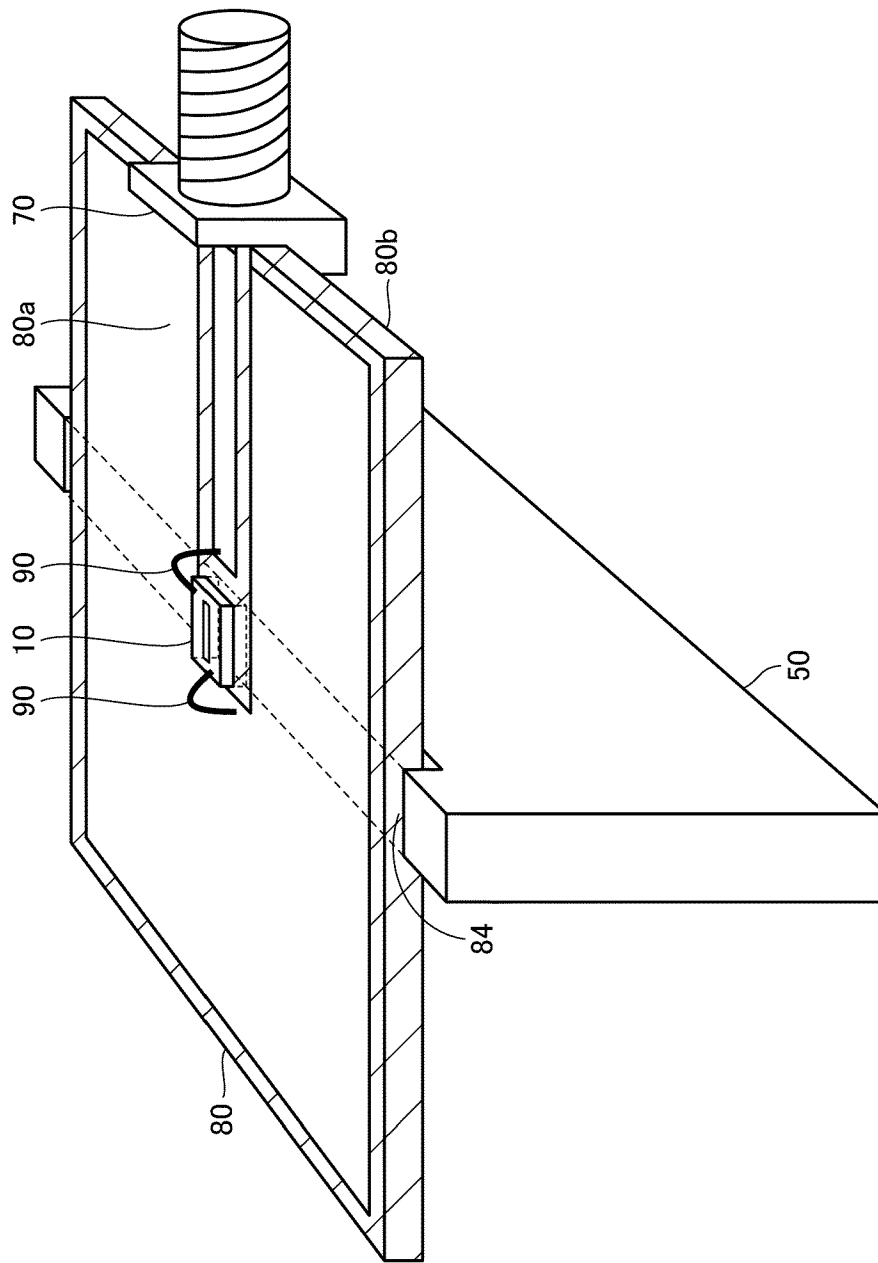
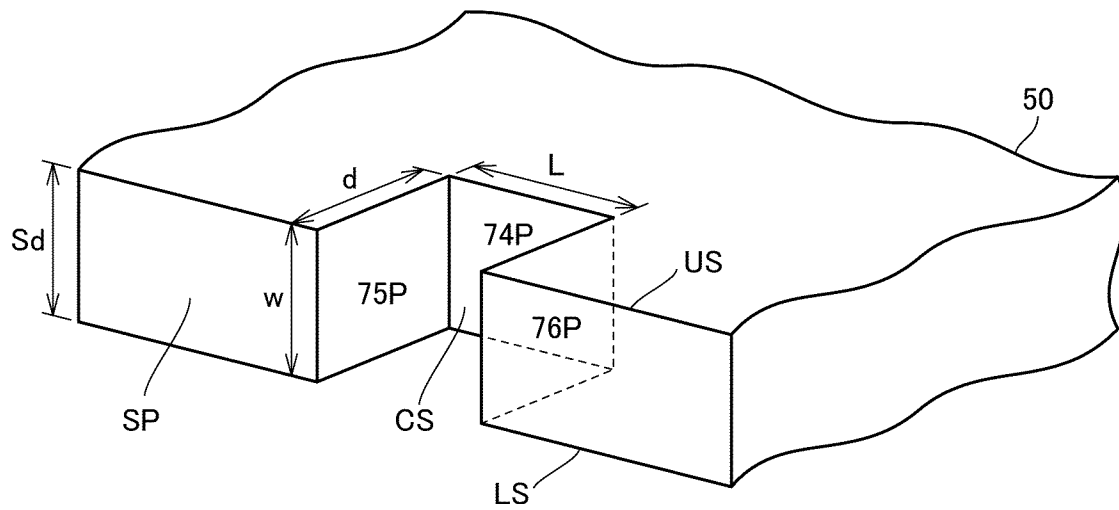


FIG.11

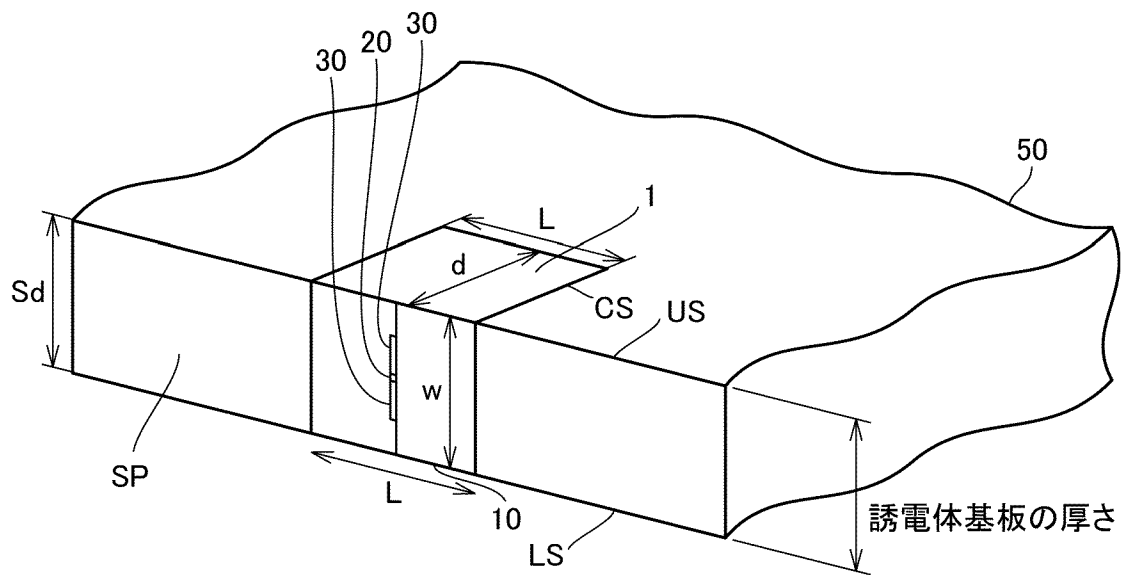
[図12]

FIG.12



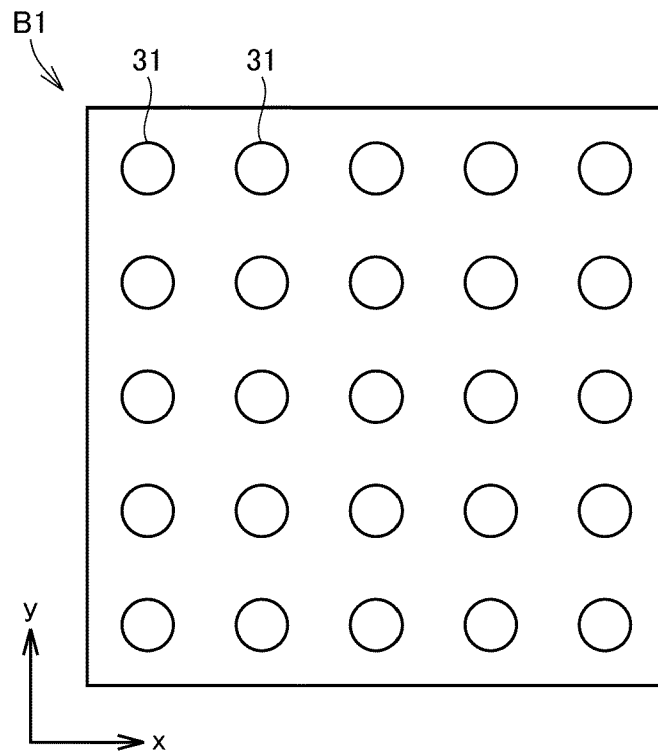
[図13]

FIG.13



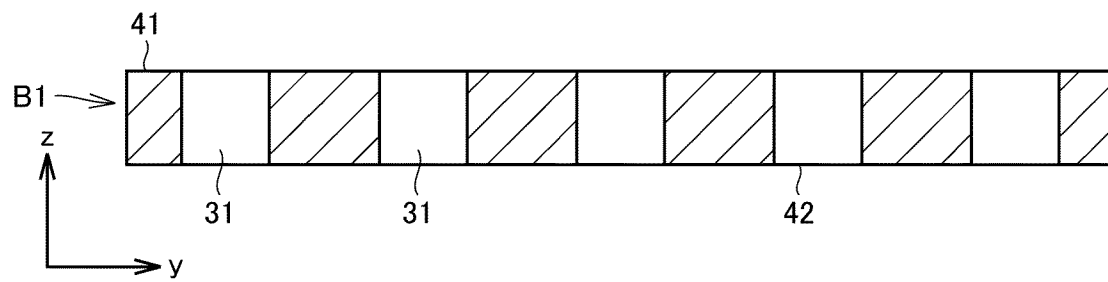
[図16]

FIG.16



[図17]

FIG.17



[図18]

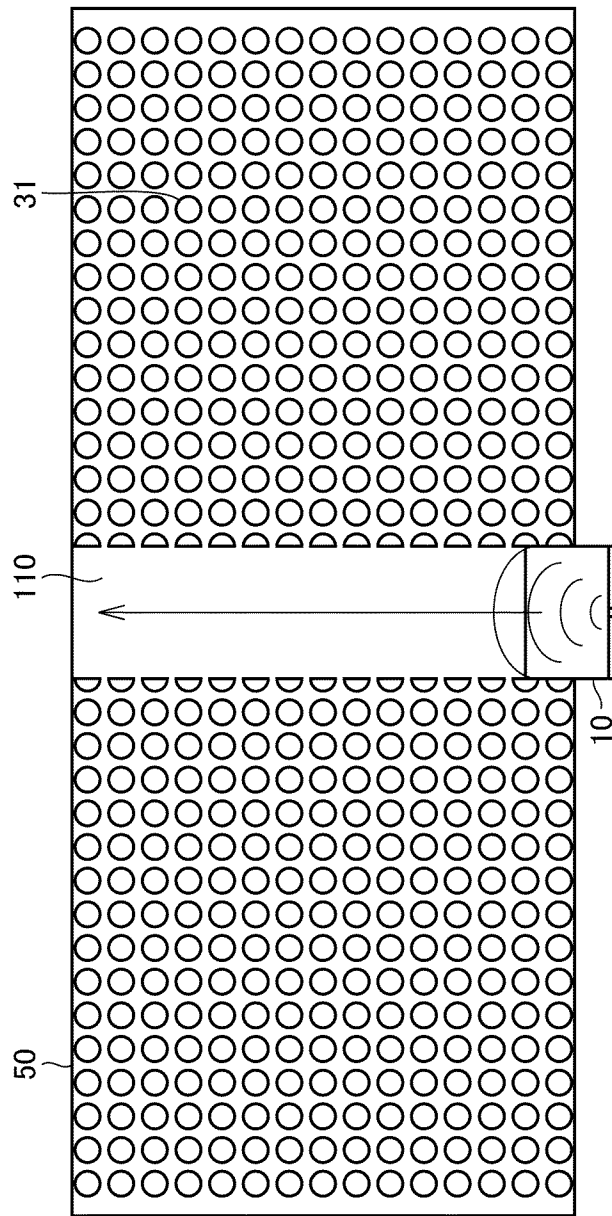
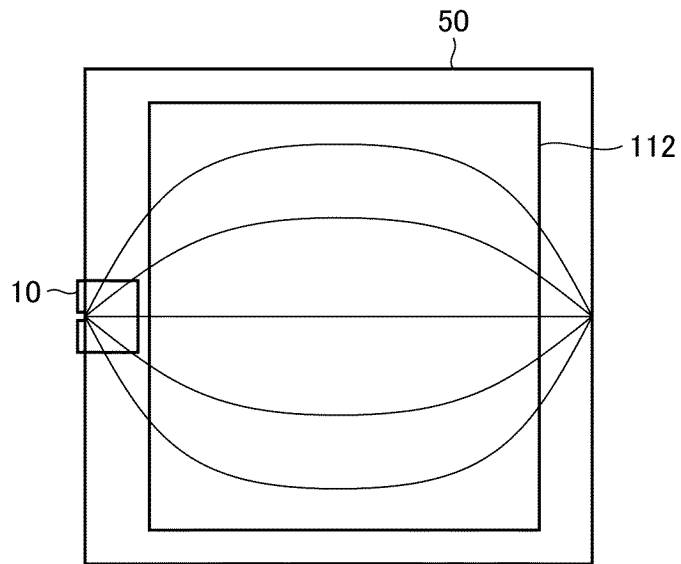


FIG.18

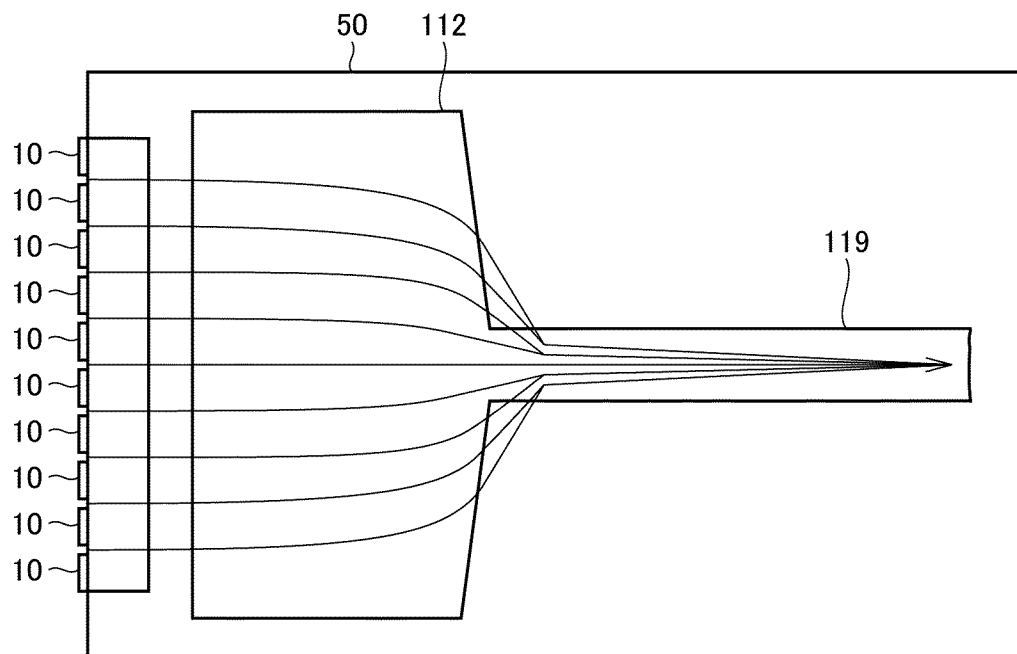
[図19]

FIG.19



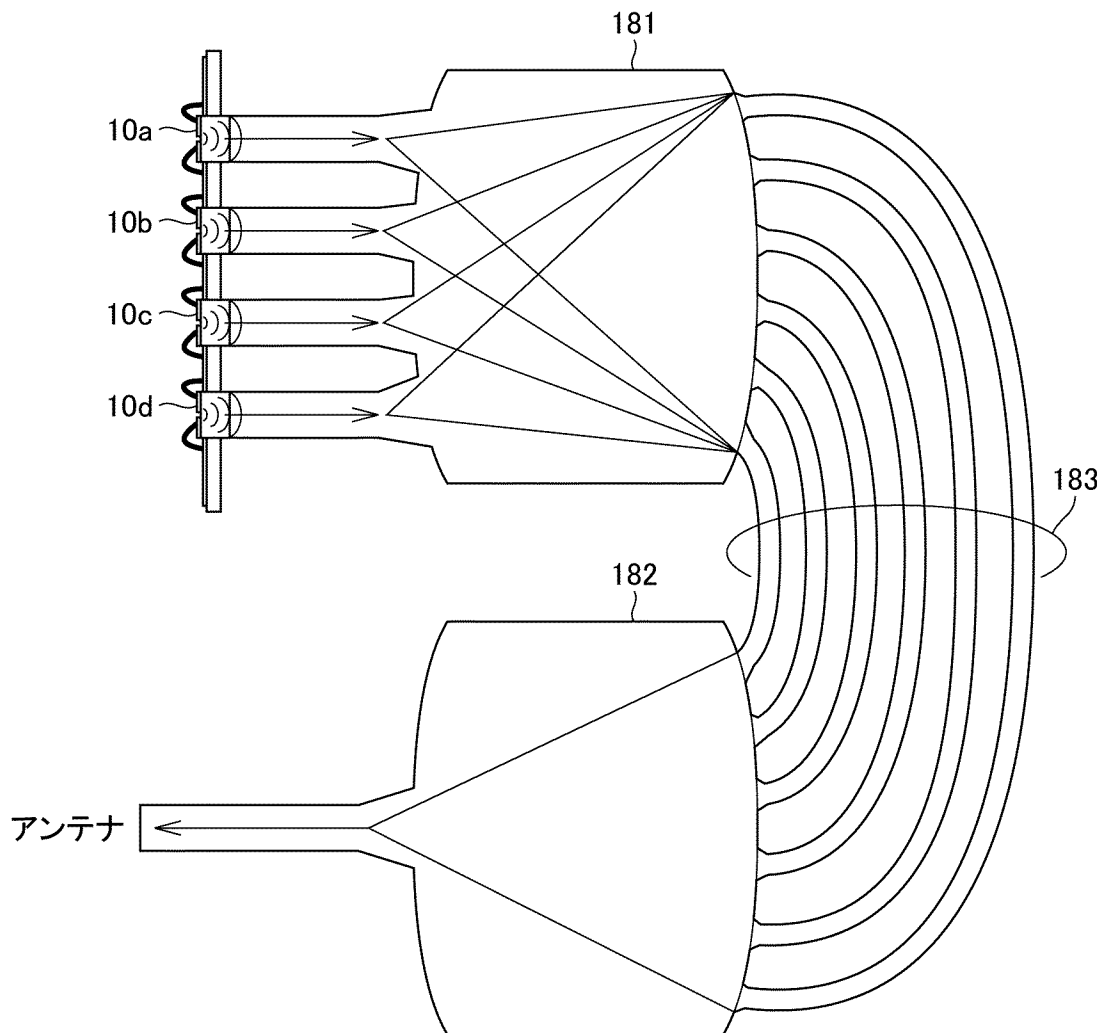
[図20]

FIG.20



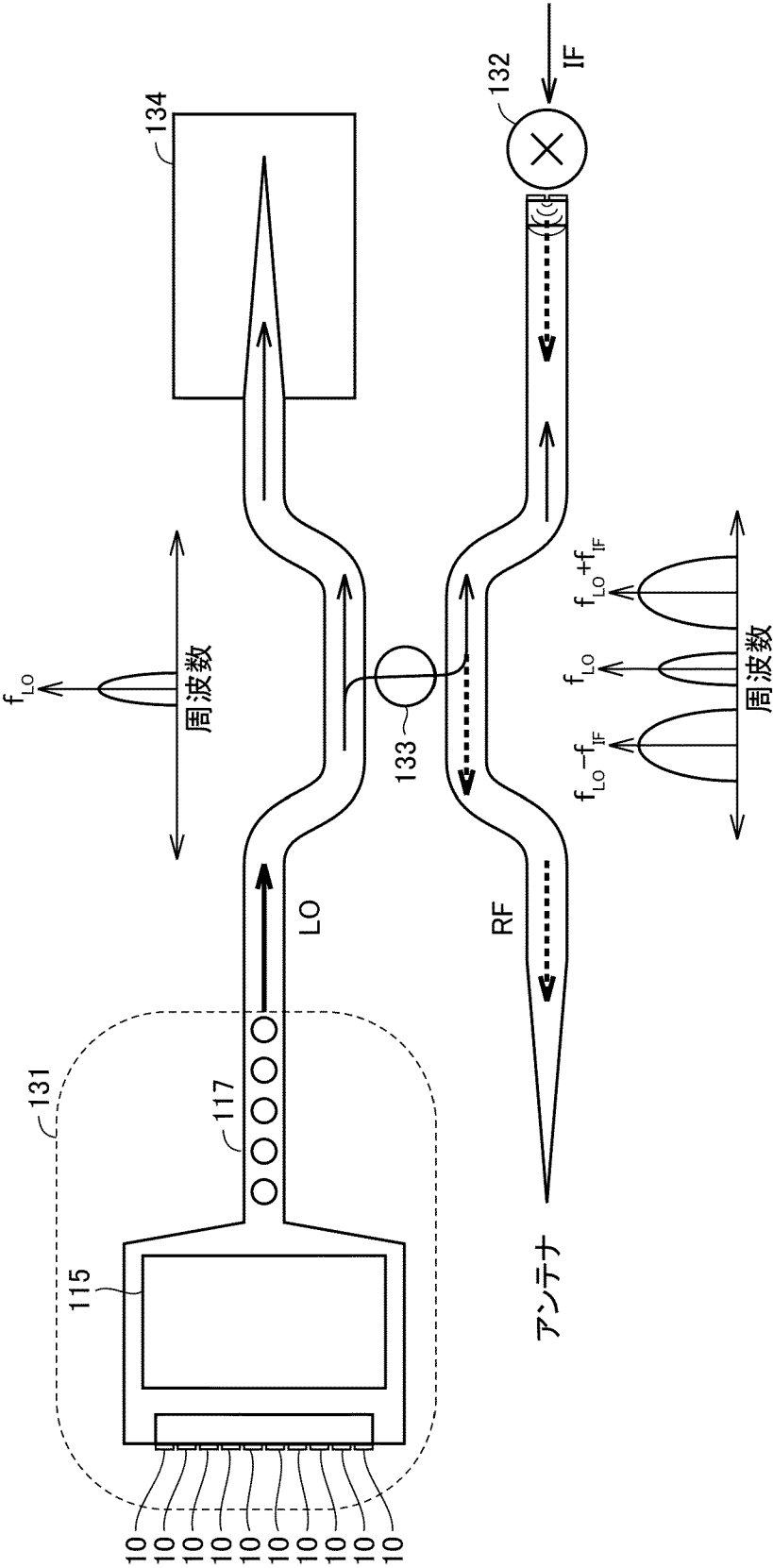
[図21]

FIG.21



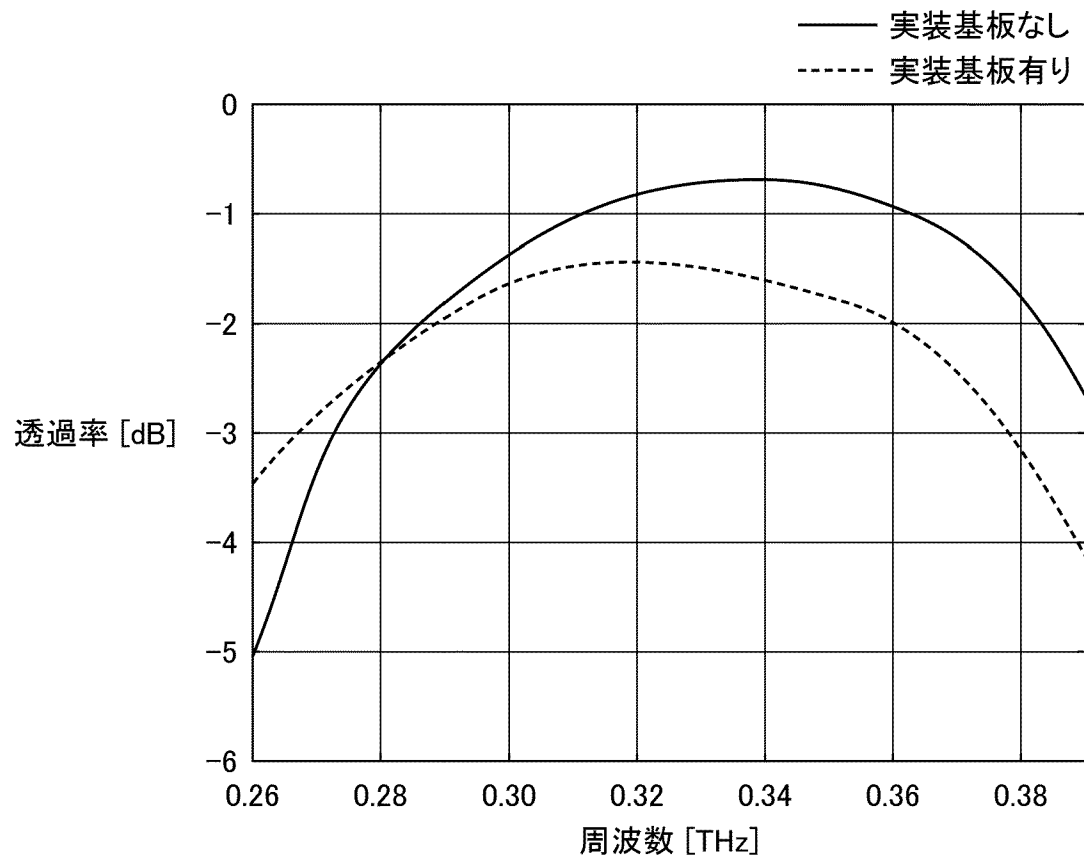
[図22]

FIG.22



[図23]

FIG.23



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/025773

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01P 1/203**(2006.01)i; **H03B 7/08**(2006.01)i

FI: H03B7/08; H01P1/203

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)

H01P1/203; H03B7/08

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 1971-2021
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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 2015-187716 A (OSAKA UNIVERSITY) 29 October 2015 (2015-10-29) paragraphs [0028], [0068], [0104], [0117]-[0134], fig. 5, 16, 23-25	1-2, 5-7, 10
Y		8-9
A		3-4
Y	US 2005/0191774 A1 (LI, Zhiyong) 01 September 2005 (2005-09-01) paragraph [0003]	8, 10
Y	JP 2014-197837 A (OSAKA UNIVERSITY) 16 October 2014 (2014-10-16) paragraphs [0089], [0123]-[0129]	9-10
A	US 2019/0044211 A1 (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 07 February 2019 (2019-02-07) paragraphs [0048], [0063]-[0070], fig. 5A-C	1-10
A	US 2011/0169405 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 14 July 2011 (2011-07-14) paragraphs [0042]-[0075], fig. 1-7	1-10



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

16 September 2021

Date of mailing of the international search report

28 September 2021

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
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/025773

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2015-187716	A	29 October 2015	US 2016/0178843 A1 paragraphs [0095], [0135], [0171], [0184]-[0204], fig. 5, 16, 23-25	
US	2005/0191774	A1	01 September 2005	(Family: none)	
JP	2014-197837	A	16 October 2014	US 2014/0248020 A1 paragraphs [0137], [0172]- [0179]	
US	2019/0044211	A1	07 February 2019	(Family: none)	
US	2011/0169405	A1	14 July 2011	EP 2343725 A1 KR 10-2011-0082419 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01P 1/203(2006.01)i; H03B 7/08(2006.01)i FI: H03B7/08; H01P1/203		
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）） H01P1/203; H03B7/08		
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 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021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 2015-187716 A (国立大学法人大阪大学) 29.10.2015 (2015 - 10 - 29) 段落[0028], [0068], [0104], [0117]-[0134], 図5, 16, 23-25	1-2, 5-7, 10
Y		8-9
A		3-4
Y	US 2005/0191774 A1 (LI, Zhiyong) 01.09.2005 (2005 - 09 - 01) 段落[0003]	8, 10
Y	JP 2014-197837 A (国立大学法人大阪大学) 16.10.2014 (2014 - 10 - 16) 段落[0089], [0123]-[0129]	9-10
A	US 2019/0044211 A1 (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 07.02.2019 (2019 - 02 - 07) 段落[0048], [0063]-[0070], 図5A-C	1-10
A	US 2011/0169405 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 14.07.2011 (2011 - 07 - 14) 段落[0042]-[0075], 図1-7	1-10
☐ 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、一般的な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 16.09.2021		国際調査報告の発送日 28.09.2021
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） 志津木 康 5W 1787 電話番号 03-3581-1101 内線 3576

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/JP2021/025773

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2015-187716	A	29.10.2015	US 2016/0178843 A1 段落[0095], [0135], [0171], [0184]-[0204], 図5, 16, 23- 25	
US	2005/0191774	A1	01.09.2005	(ファミリーなし)	
JP	2014-197837	A	16.10.2014	US 2014/0248020 A1 段落[0137], [0172]-[0179]	
US	2019/0044211	A1	07.02.2019	(ファミリーなし)	
US	2011/0169405	A1	14.07.2011	EP 2343725 A1 KR 10-2011-0082419 A	