

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5441469号
(P5441469)

(45) 発行日 平成26年3月12日 (2014. 3. 12)

(24) 登録日 平成25年12月27日 (2013. 12. 27)

(51) Int.Cl.

F I

H O 3 B 7/14 (2006.01)

H O 3 B 7/14

H O 1 P 7/08 (2006.01)

H O 1 P 7/08

H O 1 L 21/329 (2006.01)

H O 1 L 29/88

S

H O 1 L 29/88 (2006.01)

請求項の数 14 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2009-79400 (P2009-79400)
 (22) 出願日 平成21年3月27日 (2009. 3. 27)
 (65) 公開番号 特開2010-233030 (P2010-233030A)
 (43) 公開日 平成22年10月14日 (2010. 10. 14)
 審査請求日 平成24年3月27日 (2012. 3. 27)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100126240
 弁理士 阿部 琢磨
 (74) 代理人 100124442
 弁理士 黒岩 創吾
 (72) 発明者 関口 亮太
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
 ノン株式会社内
 (72) 発明者 小山 泰史
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
 ノン株式会社内

審査官 橋本 和志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 共振器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

共振器であって、
 電磁波を発生するための共鳴トンネルダイオードと、
 前記共鳴トンネルダイオードに接する誘電体と、
 前記共鳴トンネルダイオードに電流を注入するための電極を兼ね、該共鳴トンネルダイ
 オードと電氣的に接している第1の導体と、
 前記共鳴トンネルダイオードと直列に積層されて設けられる抵抗層と、
 前記共鳴トンネルダイオードに電流を注入するための電極を兼ね、前記抵抗層と電氣的
 に接している第2の導体と、を備え、
 前記第1の導体と前記第2の導体とで、前記共鳴トンネルダイオードと前記抵抗層とを
 挟み構成され、
 前記抵抗層の面内方向の断面積は、前記共鳴トンネルダイオードの面内方向の断面積よ
 りも大きいことを特徴とする共振器。

【請求項 2】

前記抵抗層は、前記共振される電磁波の周期よりも短い遅延時間となるように構成され
 ることを特徴とする請求項1記載の共振器。

【請求項 3】

前記抵抗層の面内方向の断面積における幅は、前記電磁波の前記抵抗層における表皮深
 さの2倍よりも長いことを特徴とする請求項1又は2記載の共振器。

【請求項 4】

前記遅延時間は、前記第 1 の導体と前記抵抗層とが有する容量と、前記抵抗層が有する抵抗との積を用いて取得されることを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の共振器。

【請求項 5】

前記誘電体は、前記第 1 の導体と前記第 2 の導体とに挟まれ、且つ前記共鳴トンネルダイオードと接していることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の共振器。

【請求項 6】

前記抵抗層の面内方向に対して垂直な方向における該抵抗層の厚さは、前記電磁波の前記抵抗層における表皮深さよりも厚いことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の共振器。

10

【請求項 7】

前記共振器はマイクロストリップアンテナであって、

前記電磁波を放射することを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の共振器。

【請求項 8】

前記共振器はマイクロストリップフィルタであって、

前記電磁波の特定の周波数帯だけを通過することを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の共振器。

【請求項 9】

前記第 1 の導体と前記共鳴トンネルダイオードとの電気的な接触面において、

前記第 1 の導体の面内方向の断面積が、

前記共鳴トンネル構造層の面内方向の断面積より大きく、且つ前記抵抗層の面内方向の断面積より小さいことを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の共振器。

20

【請求項 10】

前記電磁波の周波数は、30 GHz 以上 30 THz 以下の周波数領域内の周波数であることを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の共振器。

【請求項 11】

前記共鳴トンネルダイオードは、複数のトンネル障壁層を含み構成される共鳴トンネル構造層と、該共鳴トンネル構造層に電流を注入するための電気的接点層と、を含み構成されることを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の共振器。

30

【請求項 12】

共振器であって、

電磁波を発生させるための共鳴トンネルダイオードと、

前記共鳴トンネルダイオードに直列に設けられる抵抗層と、

前記共鳴トンネルダイオードと前記抵抗層とを挟み構成される第 1 及び第 2 の電極と、を備え、

前記抵抗層は、前記抵抗層と前記第 1 の電極とが持つ容量と前記抵抗層が持つ抵抗との積を用いて得る遅延時間を前記電磁波の周期よりも短くするように、構成されることを特徴とする共振器。

【請求項 13】

40

前記共鳴トンネルダイオードに並列に設けられ、該共鳴トンネルダイオードに前記第 1 及び第 2 の電極を介して電流を注入するための電圧印加部を備えることを特徴とする請求項 12 に記載の共振器。

【請求項 14】

対向する 2 つの導体と、前記 2 つの導体の間に、電気接点層を介して前記 2 つの導体とそれぞれ電氣的に接した共鳴トンネル構造層を有する共鳴トンネルダイオードと誘電体とを少なくとも有する共振器において、

前記共鳴トンネルダイオードは前記共鳴トンネル構造層に積層された抵抗層を備え、前記抵抗層の面内方向の断面積は前記共鳴トンネル構造層の面内方向の断面積よりも大きく、

50

前記共振器は前記導体と前記抵抗層に挟まれた部分を含んでおり、

前記共鳴トンネルダイオードにおける遅延時間を前記共振器における電磁波の共振周波数の一周期よりも小さくする範囲において、前記抵抗層の面内方向の断面の中心を通り辺と辺とを結ぶ最も短い長さは前記電磁波の前記抵抗層における表皮深さの2倍を下限とした断面形状を特徴とする共振器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電磁波を発生させるための共鳴トンネルダイオード(RTD: Resonant tunneling Diode)を有する共振器に関する。

10

【背景技術】

【0002】

広く認識されているように、負性抵抗素子は、共振器を伴い、電磁波の発振器としての応用分野で有用である。これまで、ミリ波帯からテラヘルツ帯まで(30GHz以上30THz以下)の周波数帯域のうち、少なくとも一部を含む電磁波(本明細書ではテラヘルツ波とも言う。)を発生させることが知られている。

【0003】

その一つとして、共鳴トンネルダイオード(RTD: Resonant tunneling Diode)を有する半導体基板をマイクロストリップ導体と接地用導体とで挟んで、モノリシック(monolithic)に構成された共振器が、特許文献1に開示されている。共鳴トンネルダイオードにより発生された電磁波を共振させるための領域となる誘電体に、半絶縁性の半導体基板を利用している。

20

【0004】

図7は、特許文献1の共振器を説明する断面図である。特許文献1の共振器において、共鳴トンネルダイオードヘテロ構造10は半絶縁性半導体基板20上に積層されている。共鳴トンネルダイオードにより発生された電磁波を共振させるために、マイクロストリップ70と接地金属30との間に絶縁体スラブ20(誘電体)を設ける。この際、共鳴トンネルダイオードヘテロ構造10との電氣的な接触は、コンタクト層80、90を利用し、マイクロストリップ70とバイアスパッド60とが接続されている。また、バイアスパッド60と接地金属30とで容量を形成(容量結合)している。これにより、上記周波数帯域の電磁波は、共鳴トンネルダイオードを経て、マイクロストリップ70、接地金属30、絶縁体スラブ20によって形成されている共振器で共振することができる。こうした構成によって、共鳴トンネルダイオードにおける電圧を入力してから電流が出力されるまでの遅延時間(RC時定数)を短くすることができる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2006-101495

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0006】

ここで、上述したように特許文献1には、共振器として基板を利用することが開示されている。このとき、基板に利用可能な材料は、積層されるRTDによって制限されてしまうという課題がある。また、発振する電磁波の周波数を考えると、基板の膜厚を比較的薄くする必要があるので、割れ易い厚さの基板を利用しなくてはならないという課題もある。

【0007】

このような製造上の理由から、特許文献1では、共振器を構成する誘電体の厚さや材料の選択は難しい。よって、共鳴トンネルダイオードとインピーダンス整合するような共振器構成を行うには限界があった。

50

【 0 0 0 8 】

また、共鳴トンネルダイオードにおける遅延時間（ RC 時定数）をできるだけ短くすることも重要な課題である。

【 0 0 0 9 】

本発明はかかる課題を鑑みてなされたものであり、その目的は、共振器を構成する誘電体の厚さや材料の選択が可能な共振器を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

本発明に係る共振器は、
電磁波を発生するための共鳴トンネルダイオードと、
前記共鳴トンネルダイオードに接する誘電体と、
前記共鳴トンネルダイオードに電流を注入するための電極を兼ね、該共鳴トンネルダイオードと電氣的に接している第 1 の導体と、
前記共鳴トンネルダイオードの面内方向に対して略垂直な方向に、該共鳴トンネルダイオードと直列に設けられる抵抗層と、
前記共鳴トンネルダイオードに電流を注入するための電極を兼ね、前記抵抗層と電氣的に接している第 2 の導体と、を備え、
前記第 1 の導体と前記第 2 の導体とで、前記共鳴トンネルダイオードの面内方向に対して略垂直な方向に、該共鳴トンネルダイオードと前記抵抗層とを挟み構成され、
前記抵抗層の面内方向の断面積は、前記共鳴トンネルダイオードの面内方向の断面積よりも大きく、
前記抵抗層の面内方向の断面積における幅は、前記電磁波の表皮深さの 2 倍よりも長く、
前記抵抗層は、前記共振される電磁波の周期よりも短い遅延時間となるように構成される。

【 0 0 1 1 】

また、別の本発明に係る共振器は、
電磁波を発生させるための共鳴トンネルダイオードと、
前記共鳴トンネルダイオードに直列に設けられる抵抗層と、
前記共鳴トンネルダイオードと前記抵抗層とを挟み構成される第 1 及び第 2 の電極と、
を備え、
前記抵抗層は、前記抵抗層と前記第 1 の電極とが持つ容量と、前記抵抗層が持つ抵抗と、を用いて得る遅延時間を前記電磁波の周期よりも短くするように構成される。

【 0 0 1 2 】

また、別の本発明に係る共振器は、
対向する 2 つの導体と、前記 2 つの導体間に、電気接点層を介して前記 2 つの導体とそれぞれ電氣的に接した共鳴トンネル構造層を有する共鳴トンネルダイオードと誘電体とを少なくとも有する共振器において、
前記共鳴トンネルダイオードは前記共鳴トンネル構造層に積層された抵抗層を備え、前記抵抗層の面内方向の断面積は前記共鳴トンネル構造層の面内方向の断面積よりも大きく、
前記共振器は前記導体と前記抵抗層に挟まれた部分を含んでおり、
前記共鳴トンネルダイオードにおける遅延時間を前記共振器における電磁波の共振周波数の一周期よりも小さくする範囲において、前記抵抗層の面内方向の断面の中心を通り辺と辺とを結ぶ最も短い長さは前記電磁波の表皮深さの 2 倍を下限とした断面形状である。

【発明の効果】

【 0 0 1 3 】

本発明によれば、 RTD と導体との間に抵抗層を挟むことによって、共振器に適度な厚みを持たせることが可能である。また、本発明に係る共振器として、誘電体を選択することができる。前記誘電体として、例えば、従来の半絶縁性基板よりも低い誘電率である誘

電体を選択することもできる。また、前記誘電体として、ミリ波帯からテラヘルツ帯まで（ 30 GHz 以上 30 THz 以下）の周波数帯域において、誘電損失が比較的小さな誘電体を選択することもできる。同時に、抵抗層を特殊な断面形状とすることによって遅延時間を最小化することもできる。すなわち、前記抵抗層によって共鳴トンネルダイオードの直列抵抗を最小限にし且つ浮遊容量（抵抗層と導体との間に発生する寄生的な容量、例えば図5（b）の寄生容量26）も低減することができる。また、これにより、遅延時間（ RC 時定数）を短くすることもできる。これにより、電力（電圧と電流との積）が大きくなり、発振されるテラヘルツ波のパワーが大きくなる。

【0014】

こうした効果を有する共振器は、ミリ波帯からテラヘルツ帯まで（ 30 GHz 以上 30 THz 以下）の周波数帯域のうち、少なくとも一部の周波数を含む電磁波を発振可能な発振器に用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】実施形態1に係る共振器の構成を示す模式図。

【図2】実施形態2に係る共振器の構成を示す模式図。

【図3】実施形態3に係る共振器の構成を示す模式図。

【図4】実施形態4に係る共振器の構成を示す模式図。

【図5】実施形態に係る共振器の構造及び該構造に等価な回路を示す模式図。

【図6】実施例1に係る共振器の構成を示す模式図。

【図7】特許文献1の共振器構造を示す模式図。

【発明を実施するための形態】

【0016】

本実施形態に係る共振器について、図5を用いて説明する。ここで、図5（a）は、本実施形態に係る共振器の構造を説明するための模式図である。また、図5（b）は、本実施形態に係る共振器と等価な回路を表す模式図である。

【0017】

まず、11は、電磁波を発生するための共鳴トンネルダイオード（ RTD ：Resonant tunneling Diode）である。 RTD 11は、複数のトンネル障壁層を含み構成される共鳴トンネル構造層を有する。このとき、前記複数のトンネル障壁の間に量子井戸層が設けられる。なお、前記電磁波の周波数は、 30 GHz 以上 30 THz 以下の周波数領域内の周波数であることが好ましい。

【0018】

次に、12は、前記共鳴トンネルダイオード11の面内方向に対して略垂直な方向に、該共鳴トンネルダイオードと直列に設けられる抵抗層である。このとき、抵抗層12は、等価回路において、前記共鳴トンネルダイオード11に直列の抵抗22としての機能を有する。前記抵抗22は、前記抵抗層12の材料や大きさ（面内方向の断面積と膜厚など）に依存する。

【0019】

また、13は、前記共鳴トンネルダイオード11に電流を注入するための電極を兼ね、該共鳴トンネルダイオード11と電氣的に接している第1の導体である。また、14は、前記共鳴トンネルダイオード11に電流を注入するための電極を兼ね、前記抵抗層12と電氣的に接している第2の導体である。そして、前記第1の導体13と前記第2の導体14とで、前記共鳴トンネルダイオード11の面内方向に対して略垂直な方向に、該共鳴トンネルダイオード11と前記抵抗層12とを挟み構成される。

【0020】

ここで、前記共鳴トンネル構造層と前記第1の導体13とに接する第1の電氣的接点層（第1のコンタクト層、図1の102）を含み構成されることが好ましい。また、前記共鳴トンネル構造層と前記抵抗層とに接する第2の電氣的接点層（第2のコンタクト層、図1の103）を含み構成されることが好ましい。これにより、前記共鳴トンネル構造層に

注入する電流を制御することができる。

【0021】

また、15は、前記発生された電磁波を共振可能に構成される誘電体である。このとき、前記第1の導体（第1の電極）13と前記第2の導体（第2の電極）14との間に設けられる誘電体15は、等価回路において、分布定数型の共振器25としての機能を持つ。このとき、前記抵抗層12は、以下のように構成される。該抵抗層12と前記第1の導体13とが持つ容量（寄生容量26）と、前記抵抗層が持つ抵抗と、を用いて得る遅延時間（RC時定数）を、前記共振される電磁波の周期よりも短くするように構成される。本発明が対象とする遅延時間とは、RC時定数のことを指し、前記抵抗と前記容量（寄生容量26）との積を用いて取得される。

10

【0022】

また、遅延時間（RC時定数）を最小化するために、前記第1の導体13と前記第2の導体14とで、前記抵抗層12の面内方向の断面積は、前記共鳴トンネルダイオード11の面内方向の断面積よりも大きい。また、前記抵抗層12の面内方向の断面積における幅は、前記電磁波の表皮深さの2倍よりも長い。

【0023】

なお、等価回路における27は、前記共鳴トンネルダイオード11に並列に設けられ、該共鳴トンネルダイオード11に前記第1の導体13と前記第2の導体14を介して電流を注入するための電源（電圧印加部）である。

【0024】

20

また、前記誘電体15は、前記第1の導体13と前記第2の導体14とに挟まれ、且つ前記共鳴トンネルダイオード11の面内方向に対して略垂直な面に接していることが好ましい。

【0025】

（実施形態1）

実施形態1に係る共振器について、図1を用いて説明する。図1（a）は、本実施形態に係る共振器の断面図を表している。

【0026】

本実施形態の共鳴トンネルダイオードは、共鳴トンネル構造層101と共鳴トンネル構造層101に電流を注入するための電氣的接点層102、103（第1の電氣的接点層102、第2の電氣的接点層103）を伴い、さらに、抵抗層104とを備える。本実施形態の共振器は、対向する2つの導体105、107（第1の導体105、第2の導体107）に挟まれ構成される。共鳴トンネル構造層101は、金属接点層172を介して接地金属171と接続されており、導体107（接地金属171と金属接点層172）は、DC（直流）とAC（交流）の共通電極として兼ねている。ここで、導体105（第1の導体）はバイアスパッドでもあり、マイクロストリップでもある。このようにすれば、共鳴トンネルダイオードを有する半導体基板110上に共振器を構成することができる。こうした構成で、ミリ波帯からテラヘルツ帯まで（30GHz以上30THz以下）の周波数領域内の周波数帯の電磁波は、共鳴トンネル構造層101を経て共振器（二導体105、107、誘電体106）で共振することが可能となる。

30

40

【0027】

これにより、抵抗層104の厚さによって、共振器の厚さを調整することができる。マイクロストリップ105（第1の導体）における特性インピーダンスは、誘電体106の厚みと材料に依存する。誘電体106の厚みは、典型的には、電磁波の波長よりも十分に薄く設計され、厚さが厚いほど特性インピーダンスが上がり、薄いほど特性インピーダンスが下がるということが知られている。また、材料の誘電率が小さいほど特性インピーダンスが上がり、大きいほど特性インピーダンスが下がるということが知られている（Brian C.

Wadell著 "Transmission Line Design Handbook", ARTECH HOUSE INC (1991), 3章を参照)。このようにして本実施形態に係る共振器は、共鳴トンネルダイオードとインピーダンス整合するよ

50

うに、誘電体の材料や厚みの選択が可能な構成となる。

【0028】

また、本実施形態では、抵抗層104の面内方向の断面の中心を通り辺と辺とを結ぶ最も短い長さdを共振する電磁波の表皮深さの2倍を下限とするようなメサ状の断面形状が特徴である。そして、以下に説明するような理想的な場合、その長さdは表皮深さの2倍程度が望まれる。

【0029】

ここで、抵抗層104の断面形状によって、共鳴トンネルダイオードの直列抵抗 R_s を調整できることは、特開平06-204504号公報に開示されている。特開平06-204504号公報には、直列負荷抵抗器（直径 $1\mu\text{m}$ ）とRTDとで構成される論理素子が開示されている。上記公報に開示があるわけではないが、論理素子の動作周波数は数GHz以下の比較的低い周波数帯域となる。このとき、この周波数帯域における表皮深さを見積もった場合、数十 μm から数百 μm となり、上記公報に開示されている抵抗器の幅（直径）より大きい。

【0030】

表面付近を流れる高周波の性質を考えれば、抵抗層104の長さdが表皮深さの2倍以上であれば、直列抵抗 R_s は最小限に抑えることができる。これは抵抗層104の積層方向の厚さが表皮深さよりも厚いときも一般的に成り立つ。ただし、導体105と抵抗層104に挟まれた部分に寄生的な浮遊容量 C_{s104} も発生する（図1(c)）。これと以上で説明した直列抵抗との積 $R_s C_{s104}$ は、最小化されるべきである。つまり、抵抗層104の断面の面積は大きすぎてもいけなく、 $R_s C_{s104}$ は、抵抗層104の長さdが共振する電磁波の表皮深さの2倍丁度のとき最小となる（図1(b)）。実際には、抵抗層104において広がり抵抗（spreading resistance）と呼ばれる直列抵抗成分が存在する（Dickens, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-15, 101 (1967)を参照）。このため、RC時定数の最小化ポイントは面積の大きい側にシフトする。これを含めれば、抵抗層104の長さdが共振する電磁波の表皮深さの2倍を下限とするような断面形状において必ずRC時定数の最小化ポイントが存在するといえる。もちろん、その長さdの上限としては共鳴トンネルダイオードにおける遅延時間（RC時定数）が電磁波の共振周波数の一周期より大きくならない範囲に限られる。

【0031】

表皮深さ（skin depth）は近似的に、

$$= 1 / \left(\mu \right) \quad (\text{式1})$$

で与えられることが知られており、電磁波の共振周波数や抵抗層104における材料の電気伝導度に依存する。表1は、いくつかの半導体材料の電気伝導度と電磁波の周波数をパラメータとした表皮深さの関係を示すものである。ここで、半導体材料について参照時は、O. Madelung著“Semiconductors - Basic Data (2nd Rev. Ed.)” Springer (1996)における有効質量、異動度を参照し、当業者ならよく知られたドゥルーデモデルによりキャリア濃度に依存した電気伝導度を導出した（*のGaAsSbについてはJ. Crystal Growth, Vol. 221, 59 (2000)の電気伝導度を参照した）。本実施形態による共振器においては、共鳴トンネル構造層101は半導体基板110上に積層されて構成されるため、抵抗層104も半導体材料で構成することが想定される。式1より、表皮深さは電磁波の周波数にも依存する。

【0032】

例えば、表1を参照するとわかるように、ミリ波帯からテラヘルツ帯まで（30GHz以上30THz以下）においてはいずれの半導体材料においても大きすぎない長さといえる。こうした抵抗層104や、共鳴トンネル構造層101と共鳴トンネル構造層101に電流注入するための電氣的接点層102、103の材料系としては、GaAs基板上のGaAs/AlGaAsやInP基板上のInGaAs/InAlAs、InGaAs/A

10

20

30

40

50

1 A s を利用してもよい。また、これらに限ることはなく、I n A s 基板上の I n A s / A l A s S b や I n A s / A l S b、I n P 基板上の I n G a A s / A l G a A s S b、S i 基板上の S i / S i G e といった半導体多層膜構成も可能である。共鳴トンネルダイオードにおける多数キャリアは、電気的接点層 1 0 2、1 0 3 のキャリアドープによって電子又は正孔を選択することができる。抵抗層 1 0 4 の導電型はこれと同じものが選択される。

【 0 0 3 3 】

【表 1】

表1

Material	Concentration	Conductivity	δ (0.3THz) μm	δ (1THz) μm	δ (3THz) μm
n-GaAs	$1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$	$1.0 \times 10^1 \text{ S/cm}$	28	16	9
n-GaAs	$1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$4.8 \times 10^2 \text{ S/cm}$	4.2	2.3	1.3
n- In ₅₃ Ga ₄₇ As	$1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$	$1.3 \times 10^2 \text{ S/cm}$	8.1	4.4	2.6
n- In ₅₃ Ga ₄₇ As	$1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$9.6 \times 10^2 \text{ S/cm}$	3.0	1.6	0.9
n- In ₅₃ Ga ₄₇ As	$1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	$6.4 \times 10^3 \text{ S/cm}$	1.1	0.63	0.36
p- GaAs ₅₁ Sb ₄₉ *	$1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$	$4.8 \times 10^2 \text{ S/cm}$	4.2	2.3	1.3
n-InP	$1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$	$6.4 \times 10^0 \text{ S/cm}$	36	20	11
n-InP	$1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	$3.2 \times 10^2 \text{ S/cm}$	5.1	2.8	1.6

10

20

【 0 0 3 4 】

(実施形態 2 : マイクロストリップアンテナ)

実施形態 2 に係る共振器について、図 2 を用いて説明する。図 2 (a) は、本実施形態に係る共振器の上面図を表している。また、図 2 (b) は、本実施形態に係る共振器の断面図を表している。

【 0 0 3 5 】

実施形態 2 に係る共振器は、マイクロストリップアンテナとして知られるパッチアンテナを利用するものである。パッチアンテナは、分布定数型の共振器（共振波長と同程度の大きさの構造を持つ共振器）であって、パッチアンテナ 2 5 1 の面内方向の長さによって共振周波数が決まる。通常は、 $\lambda/2$ パッチアンテナを用いる。共鳴トンネルダイオードから放射される電磁波は、パッチアンテナにより共振した後に、発振する。そしてパッチアンテナ 2 5 1 の負荷を利用することによって、電磁波を外部に取り出すことができる。ここで、パッチアンテナの負荷は、取り出したい出力に応じて仕様が決められる。本実施形態では、誘電体 2 0 6 の厚さ、つまり抵抗層 2 0 4 の厚さによって、取り出したい出力を調整することができる。パッチアンテナの共振周波数における入力インピーダンスは、誘電体 2 0 6 の厚さが厚いほど上がり、薄いほど下がる。また、材料の誘電率が小さいほど上がり、大きいほど下がる。本発明による共振器はこの様にして、インピーダンスの調整を行うことができる。また、上面から見る共鳴トンネルダイオードの位置をアンテナの中央からオフセットさせることによっても、入力インピーダンスの調整を行うことができる。尚、共鳴トンネル構造層 2 0 1 への電流注入はバイアス線 2 5 2 を利用する。バイアス線 2 5 2 は、例えばバイアスティー（回路において、D C と A C とを流すことのできる分岐点）を介して電源に接続しておく。

30

40

【 0 0 3 6 】

本実施形態において、抵抗層 2 0 4 の断面形状は円形としている。ここで、抵抗層 2 0 4 の面内方向における断面の中心を通り、辺と辺とを結ぶ最も短い長さを d とする。このとき、前記長さ d は、円形における直径の長さとなる。これは、直径の長さを表皮深さの 2 倍としたとき、抵抗層 2 0 4 のほぼ全領域に電流が流れるようになるからである。尚、その他の断面形状における長さ d については、図 2 (c) に示す。三角形の場合、断面の中心とは垂心である。

50

【0037】

さらに、こうしたパッチアンテナへの結合効率を高めるための結合部材として、シリコン半球レンズを上面に載せてもよい。MEMS加工によって作製されるホーンアンテナを上面に載せてもよい。こうした本実施形態による共振器は、ミリ波帯からテラヘルツ帯まで(30GHz以上30THz以下)の周波数領域内の周波数帯域における共振器として好ましい。

【0038】

(実施形態3：マイクロストリップフィルタ)

実施形態3による共振器について、図3を用いて説明する。図3(a)は、本実施形態に係る共振器の上面図を表している。また、図3(b)は、本実施形態に係る共振器の断面図を表している。

10

【0039】

本実施形態の共振器は、マイクロストリップフィルタとして知られる結合線路フィルタを利用するものである。結合線路フィルタは分布定数型の共振器であって、マイクロストリップライン共振器351の面内方向の長さによって共振周波数(特定の周波数)が決まる。通常は、 $\lambda/2$ マイクロストリップラインを用いる。さらに、これと磁界結合するように二つのマイクロストリップライン308を配置する。共鳴トンネルダイオードから放射される電磁波は、一方のマイクロストリップライン308へ入力された電磁波に注入同期し、発振する。こうして入力より振幅の大きい電磁波は、もう一方のマイクロストリップライン308へ取り出すことができる。これは、マイクロストリップライン共振器351によって決められる共振周波数付近の周波数帯(特定の周波数帯)において著しく、共振周波数付近の周波数帯を通過するフィルタとなる。ここで、マイクロストリップライン308の特性インピーダンスは、通常は50の仕様となることが多い。これに伴って、マイクロストリップライン共振器351の特性インピーダンスもその付近とせざるを得ない。しかし本発明では、誘電体306の厚さ、つまり抵抗層304の厚さによってこれを調整することができる。マイクロストリップラインの特性インピーダンスは誘電体306の厚さが厚いほど上がり、薄いほど下がる。また、材料の誘電率が小さいほど上がり、大きいほど下がる調整することができる。本発明による共振器はこの様にして、インピーダンスの調整を行うことができる。尚、共鳴トンネル構造層301への電流注入はバイアス線352を利用する。バイアス線352はバイアスティーを介すなどとして電源などに接続しておく。

20

30

【0040】

本実施形態において、抵抗層304の断面形状は四角形としているが、このとき、抵抗層304の面内方向の断面の中心を通り辺と辺とを結ぶ最も短い長さdとしては、四角形における短辺の長さがこれに対応する。これは、短辺の長さを表皮深さの2倍丁度としたとき全断面積に電流が流れるようになるからである。尚、その他の断面形状における長さdについては図2(c)に示す。三角形の場合、断面の中心とは垂心である。

【0041】

こうした本実施形態による共振器は、ミリ波帯からテラヘルツ帯まで(30GHz以上30THz以下)の周波数領域内の周波数帯における共振器として好ましい。

40

【0042】

(実施形態4)

実施形態4に係る共振器について、図4を用いて説明する。図4は、本実施形態に係る共振器を表している。

【0043】

本実施形態の共振器は、共鳴トンネルダイオードにおけるRC時定数がより小さくなるように最適化されている。いま、共鳴トンネルダイオードにおける共鳴トンネル構造層401の面内方向の面積を S_{401} 、抵抗層404の面内方向の面積 S_{404} とする。本実施形態では、導体405を変形させ、その面内方向の断面積Sを共鳴トンネル構造層401の面内方向の面積 S_{401} に徐々に近づけるような構成をとっている。というのも、浮

50

遊容量 C_{s404} を低減するために導体 405 と抵抗層 404 に挟まれた部分になるべく厚くなるような構成が好ましいからである。また、直列抵抗を増大させないために、導体 405 と電気接点層 402 との接触面積は小さすぎてはいけない。本実施形態はこれらを両立する構造となっており、導体 405 と共鳴トンネルダイオードとの接触面において、その面内方向の断面積 S が $S_{401} \leq S < S_{404}$ となる断面形状を有している。

【0044】

本実施形態において、マイクロストリップ 405 には凹みが発生するが、凹みが十分に浅いとき（例えば、 $h/20$ 以下）の電磁波特性は、マイクロストリップが平滑なときのそれとほぼ変わらない。このように本実施形態は、共振器の電磁波特性をあまり変えることなく共鳴トンネルダイオードにおける遅延時間をより小さくすることができる。

10

【0045】

こうした本実施形態による共振器は、ミリ波帯からテラヘルツ帯まで（30 GHz 以上 30 THz 以下）の周波数領域内の周波数帯における共振器としてさらに好ましい。

【0046】

更に具体的な構成については、以下の実施例において説明する。

【実施例】

【0047】

図 6 は、本実施例による共振器を示すもので、図 6 (a) は構造の上面図、図 6 (b) は構造の断面図を表している。本実施例による共振器は、マイクロストリップアンテナとしてよく知られるパッチアンテナを利用するものである。本実施例の共鳴トンネルダイオードは、InP 基板上の InGaAs / InAlAs、InGaAs / AlAs による共鳴トンネル構造層 601 と n-InGaAs による電氣的接点層 602、603 を伴い、さらに、n-InP による抵抗層 604 とを備える。共鳴トンネル構造層 601 は、例えば障壁層を三枚用いた共鳴トンネルダイオードを用いる。より具体的には、電気接点 602 側から電気接点 603 側へ順に、AlAs 1.3 nm / InGaAs 7.6 nm / InAlAs 2.6 nm / InGaAs 5.6 nm / AlAs 1.3 nm の半導体多層膜構造で構成する。このうち、InGaAs は井戸層、格子整合する InAlAs や非整合の AlAs は障壁層である。これらの層は意図的にキャリアドープを行わないアンドープとしておく。本実施例において、抵抗層 604 は $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度の電子濃度とする。本実施例の共振器は、対向する二導体 605、607 間にミリ波帯からテラヘルツ帯まで（30 GHz 以上 30 THz 以下）の周波数領域内において誘電損失が比較的小さな低損失誘電体として知られる BCB（ベンゾシクロブテン）661 を備える。導体 607（接地金属 671 と金属接点層 672）は DC と AC の共通電極として兼ねているが、本実施例において、接地金属 671 は、例えば Ti / Au、金属接点層 672 は InP 基板上的 n-InP によって構成する。やはり、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度の電子濃度とする。InP 基板 61 としては n 型の導電性基板を選択してもよく、この場合、導電性 InP 基板 61 が抵抗層 604、金属接点層 672 を兼ねていてもよい。本実施例のパッチアンテナは $200 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ の正方形パッチ 651 を選択する。また、比較的低インピーダンスな共鳴トンネルダイオードと整合するように、本実施例では、パッチアンテナ 651 の負荷を 50 の仕様とする。そのために BCB 661 の膜厚は約 $3 \mu\text{m}$ が必要である。ゆえに、抵抗層 604 の膜厚を $3 \mu\text{m}$ とする。また、上面から見る共鳴トンネルダイオードの位置をアンテナの中央からオフセットアンテナの中心から共振方向に $40 \mu\text{m}$ だけオフセットさせ、さらに入力インピーダンスの調整を行っている。このようなパッチアンテナ 651 において、共鳴トンネル構造層 601 の直径 $2 \mu\text{m}$ のとき、発振周波数は約 0.4 THz と見積もられる。

20

30

40

【0048】

本実施例の抵抗層 604 における表皮深さ δ は、発振周波数 0.4 THz において、 $2 \mu\text{m}$ である。したがって、抵抗層 604 の直径の下限 2δ は $4 \mu\text{m}$ となる。これは抵抗層 604 における広がり抵抗がゼロの理想的な場合であるが、本実施例における広がり抵抗も考慮すると、抵抗層 604 が直径 $10 \mu\text{m}$ のとき RC 時定数の最小化ポイントと見積も

50

られる。本実施例において、 R_s は 1.6 、導体 605 と抵抗層 604 に挟まれた部分の寄生的な浮遊容量 C_{s604} は十数 fF と見積もられる。もちろん $R_s C_{s604}$ 時定数は、発振周波数 $0.4THz$ における一周期($2.5ps$)より小さくなっている。

【0049】

このように、本実施例による共振器は、ミリ波帯からテラヘルツ帯まで($30GHz$ 以上 $30THz$ 以下)の周波数領域内の周波数の電磁波を外部空間に取り出すことのできる発振器として使用することができる。

【0050】

本実施例による共振器は次の作製方法で作製することができる。まず、 InP 基板 61 上に、分子ビームエピタキシー(MBE)法や有機金属気相エピタキシー(MOVPE)法などによって、次の層をエピタキシャル成長する。すなわち、順に、 $n-InP672$ 、 $n-InP604$ 、 $n-InGaAs603$ 、アンドープ $InGaAs/InAlAs$ による共鳴トンネル構造層 601 、 $n-InGaAs602$ をピタキシャル成長する。 InP 基板 61 として n 型の導電性基板を選択する場合は、 $n-InGaAs603$ からエピタキシャル成長すればよい。つぎに、共鳴トンネル構造層 601 と電気接点層 602 、 603 を、 $1=2\mu m$ のメサ状にエッチングを行う。さらに、抵抗層 604 を、 $2=10\mu m$ のメサ状にエッチングを行う。エッチングにはホトリソグラフィとICP(誘導性結合プラズマ)によるドライエッチングを用いる。続いて、露出した $n-InP672$ の表面に、リフトオフ法により接地金属 671 を形成する。共鳴トンネル構造層 601 における側壁の保護のためのパッシベーション膜 662 は、プラズマCVD法などによって窒化シリコン 662 などを成膜すればよい。抵抗層 604 の膜厚 $3\mu m$ によって確保した共振器となる部分には、スピンコート法とドライエッチングを用いて、 $n-InGaAs602$ を露出させるようにBCB 661 を膜厚約 $3\mu m$ に形成する。最後に、リフトオフ法により $Ti/Pd/Au605$ を形成して、本実施例の共振器は完成する。

【0051】

本実施例により、上記実施形態の説明のところで述べた様な作用・効果を奏することができる。

【符号の説明】

【0052】

- 11 共鳴トンネルダイオード
- 12 抵抗層
- 13 第1の導体
- 14 第2の導体
- 15 誘電体

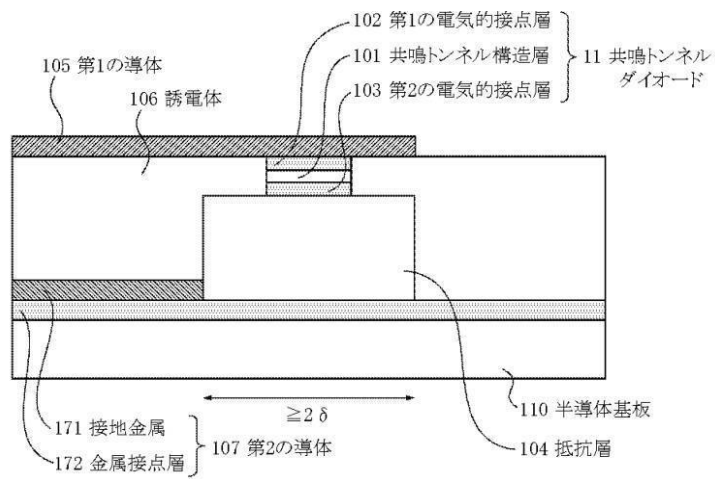
10

20

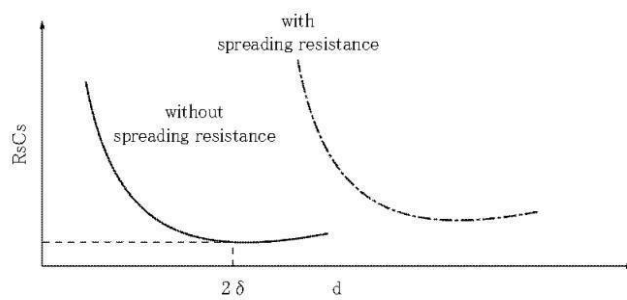
30

【図 1】

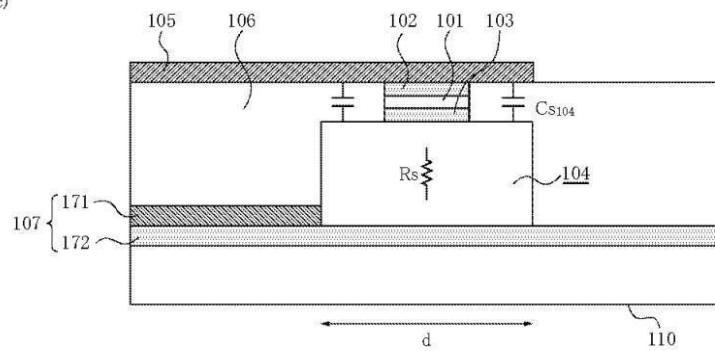
(a)



(b)

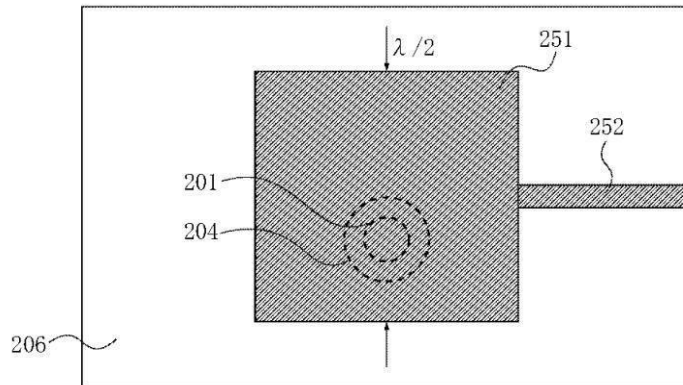


(c)

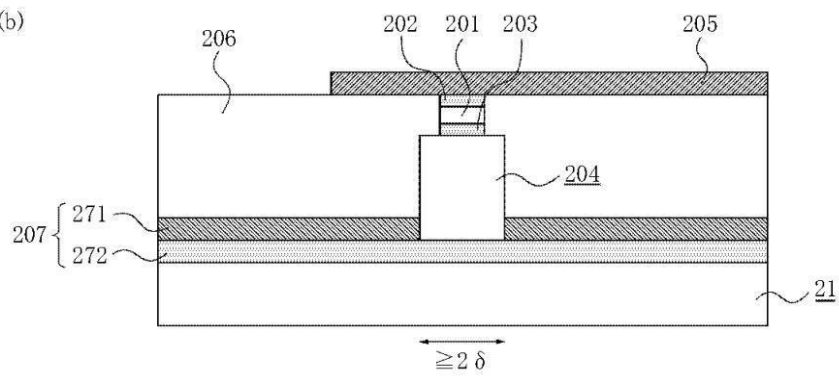


【図 2】

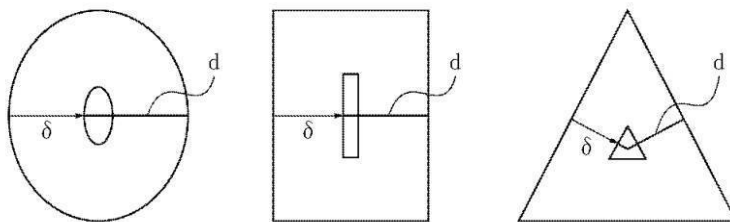
(a)



(b)

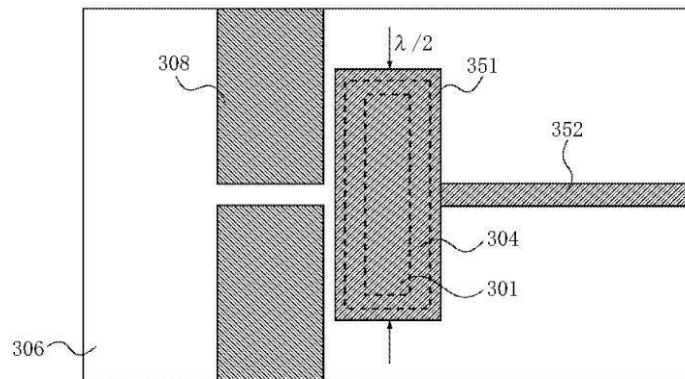


(c)

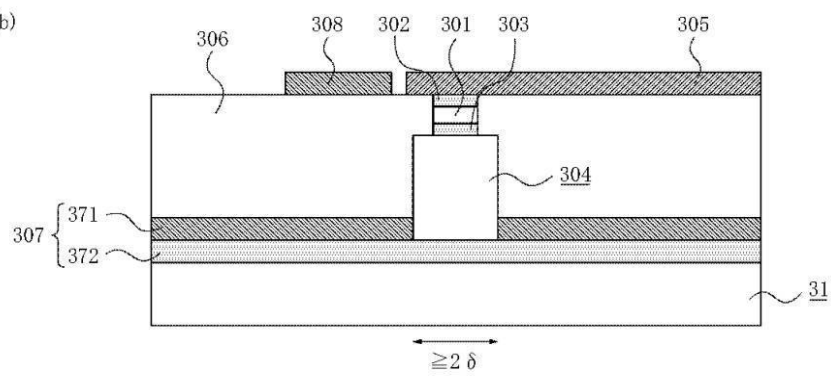


【図 3】

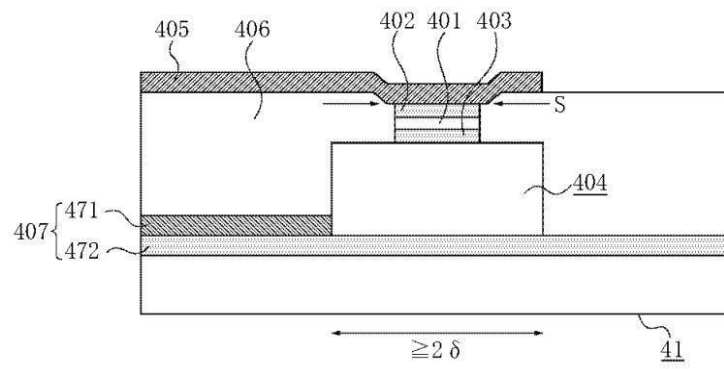
(a)



(b)

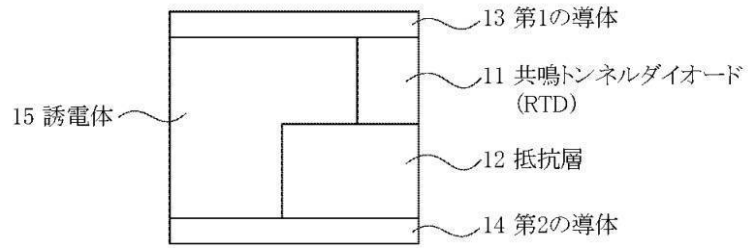


【図 4】

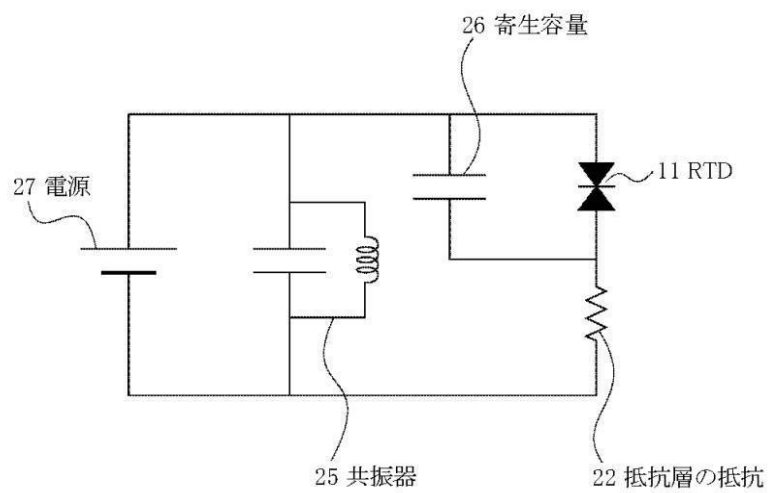


【図5】

(a)

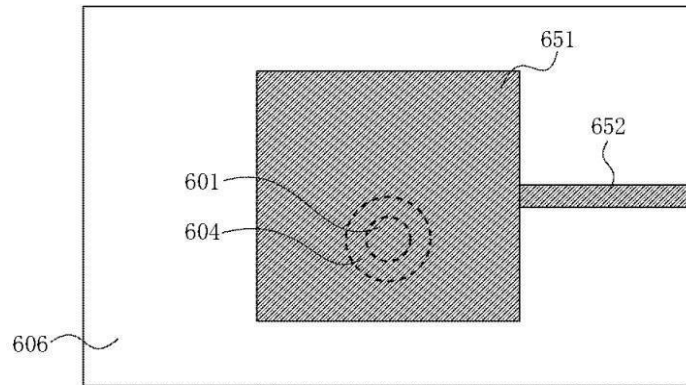


(b)

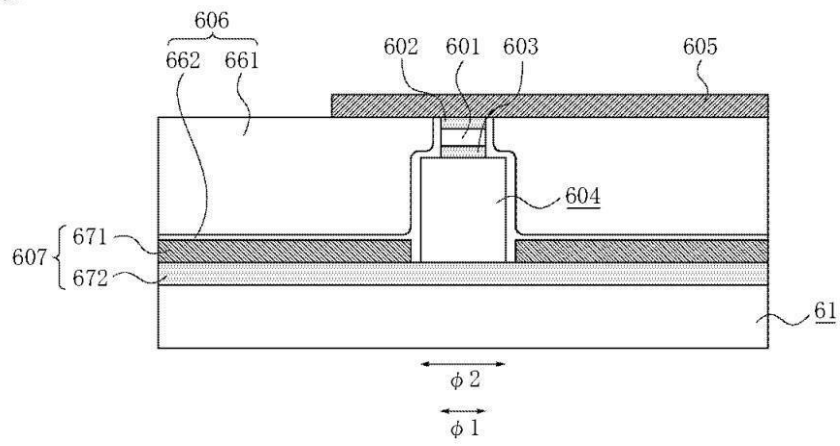


【図 6】

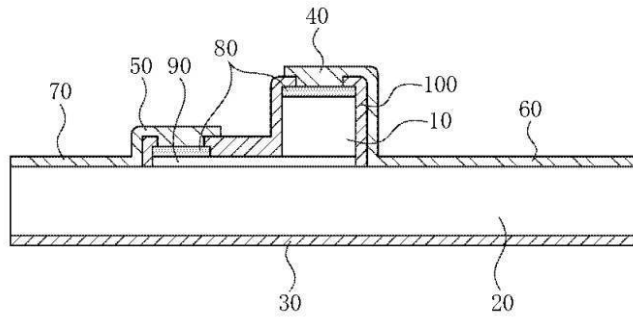
(a)



(b)



【図 7】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2009-059922(JP,A)
特開2007-324257(JP,A)
特開平08-116074(JP,A)
特開平06-204504(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03B	7/14
H01L	21/329
H01L	29/88
H01P	7/08