

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5441470号
(P5441470)

(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 11 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2009-79401 (P2009-79401)
(22) 出願日 平成21年3月27日 (2009. 3. 27)
(65) 公開番号 特開2010-233031 (P2010-233031A)
(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】

電磁波を発生する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に接する誘電体と、
前記共鳴トンネルダイオードと前記誘電体とを挟むように構成される第1及び第2の導
体と、を備え、

前記誘電体を前記第1及び前記第2の導体とで挟み構成される共振器領域と、前記共鳴
トンネルダイオードと前記抵抗層とを前記第1の導体と前記第2の導体とで挟み構成され
る抵抗領域とが、並列に設けられることを特徴とする共振器。

【請求項 2】

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請求項1に記載の共振器。

【請求項 3】

前記抵抗層の面内方向の断面積における幅は、前記抵抗層における前記共振器の共振周
波数での表皮深さの2倍よりも長いことを特徴とする請求項1あるいは2に記載の共振器
。

【請求項 4】

前記抵抗層の面内方向に対して略垂直な方向における該抵抗層の厚さは、前記抵抗層に
おける前記共振器の共振周波数での表皮深さよりも厚いことを特徴とする請求項1乃至3

10

20

のいずれか 1 項に記載の共振器。

【請求項 5】

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 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の共振器。

【請求項 6】

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 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の共振器。

【請求項 7】

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 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の共振器。

【請求項 8】

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 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の共振器。

【請求項 9】

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氣的接点層と、を含み構成されることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の共振器。

【請求項 10】

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 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の共振器。

【請求項 11】

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、かつ前記 2 つの導体に挟まれた部分において、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と一致していること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。

【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、電磁波の発信器としての応用分野で有用である。これまでに、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。

【0004】

10

20

30

40

50

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。

10

【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】

【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。

20

【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。

【0008】

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。

30

【0009】

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】

【0010】

本発明に係る共振器は、電磁波を発生する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に接する誘電体と、前記共鳴トンネルダイオードと前記誘電体とを挟むように構成される第1及び第2の導体と、を備え、前記誘電体を前記第1及び前記第2の導体とで挟み構成される共振器領域と、前記共鳴トンネルダイオードと前記抵抗層とを前記第1の導体と前記第2の導体とで挟み構成される抵抗領域とが、並列に設けられる。

40

【0011】

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2つの導体に挟まれた部分において、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と略一致している。

50

【発明の効果】

【0012】

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（30GHz以上30THz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1（b）の寄生容量26）を最低限にし且つ共鳴トンネルダイオードの直列抵抗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。

10

【0013】

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（30GHz以上30THz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共振器に用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】実施形態1に係る共振器の構成を示す模式図。

20

【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】実施形態に係る共振器の抵抗層の断面積とRC時定数との関係を示す模式図。

【図5】実施例1に係る共振器の構成を示す模式図。

【図6】実施例1に係る共振器の構成の変形例を示す模式図。

【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】

【0015】

本実施形態に係る共振器について、図1（a）と（b）を用いて説明する。ここで、図1（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1（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。

30

【0016】

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。RTD11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層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、30GHz以上30THz以下の周波数領域内の周波数であることが好ましい。

【0017】

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。

40

【0018】

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と電気的に接している第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と電気的に接している第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。

50

【 0 0 1 9 】

ここで、前記共鳴トンネル構造層と前記第 1 の導体 1 3 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 (C) の 1 0 2 ）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 1 0 3 ）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。

【 0 0 2 0 】

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。また、誘電体 15 は、前記共鳴トンネルダイオードの面内方向に略垂直な面に接するように設けられる。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。

10

【 0 0 2 1 】

前記誘電体 15 を前記第 1 及び前記第 2 の導体 13、14 とで挟み構成される共振器領域 16 と、前記共鳴トンネルダイオード 11 と前記抵抗層 12 とを前記第 1 の導体 13 と前記第 2 の導体 14 とで挟み構成される抵抗領域 17 とを有する。そして、前記共振器領域 16 と前記抵抗領域 17 とが、並列に設けられる。これにより、前記抵抗層 12 と前記第 1 の導体 13 とが持つ容量（寄生容量 26 ）を抑制することが可能となる。ここで、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、前記抵抗層 12 の抵抗と前記容量（寄生容量 26 ）との積を用いて取得される。

20

【 0 0 2 2 】

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ことが好ましい。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 倍よりも長いことが好ましい。

【 0 0 2 3 】

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。

【 0 0 2 4 】

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。

30

【 0 0 2 5 】

また、前記第 1 の導体と前記共鳴トンネルダイオードとの電氣的な接触面は、以下のように構成されることが好ましい。まず、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いことが好ましい。さらに、前記第 1 の導体の面内方向の断面積が、前記抵抗層の面内方向の断面積より小さいことが好ましい。

【 0 0 2 6 】

（実施形態 1）

40

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

【 0 0 2 7 】

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 に電流注入するための電氣的接点層 102、103（第 1 の電氣接点層 102、第 2 の電氣接点層 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）と 2 つの導体間の誘電体 106 を備える。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。ゆえに、導体 105（

50

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。

【0028】

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)。このようにして本発明による共振器は、共鳴トンネルダイオードとインピーダンス整合するように、誘電体の材料や厚みの選択が可能な構成となる。

【0029】

また、本実施形態では、共振器となる2つの導体105、107に挟まれた部分において、抵抗層104の断面形状は共鳴トンネル構造層の面内方向の断面形状と略一致していることが特徴である。したがって、共振器内に導体105と抵抗層104に挟まれた部分を作らずにすむため、寄生的な浮遊容量 C_{s104} の発生を最小限に抑えることができる。ただし、抵抗層104において直列抵抗 R_s が発生する(図4(b))。これと、以下に説明する直列抵抗との積 $R_s C_{s104}$ は、最小化されるべきである。

【0030】

ここで、抵抗層104の断面積によって共鳴トンネルダイオードの直列抵抗 R_s が調整できることが、特開平06-204504号公報に開示されている。

【0031】

そこで、2つの導体105、107に挟まれていない部分へ抵抗層104の断面積を大きくすればよい。つまり、抵抗層104の断面の面積が大きくなると、 $R_s C_{s104}$ は小さくなる(図4(a))。さらに、表面付近を流れる高周波の性質を考えれば、好ましくは、抵抗層104の幅 d が表皮深さの2倍以上であれば、直列抵抗 R_s も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。この結果、二導体105、107に挟まれた部分のみ、抵抗層104の断面形状は共鳴トンネル構造層の面内方向の断面形状と一致する。

【0032】

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。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基板上的GaAs/AlGaAsやInP基板上的InGaAs/InAlAs、InGaAs/AlAsを利用してよい。また、これらに限ることはなく、InAs基板上的InAs/AlAsSbやInAs/AlSb、InP基板上的InGaAs/AlGaAsSb、Si基板上的Si/SiGe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、電氣的接点層102、103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104の導電型はこれと同じものが選択される。

【0033】

(実施形態2：マイクロストリップアンテナ)

実施形態2による共振器については図2を参照して説明する。図2(a)は本実施形態による共振器の上面図を、図2(b)は断面図を表している。本実施形態の共振器は、マ

10

20

30

40

50

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。パッチアンテナは分布定数型の共振器であって、パッチアンテナ 251 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共振し、発振する。そしてパッチアンテナ 251 の負荷を利用することによって電磁波を外空間へ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。本発明では、誘電体 206 の厚さ、つまり抵抗層 204 の厚さによってこれ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 206 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。尚、共鳴トンネル構造層 201 への電流注入はバイアス線 252 を利用する。バイアス線 252 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。

10

【0034】

本実施形態において、抵抗層 204 の上面から見る断面形状は円形としているが、これは共鳴トンネル構造層 201 の円弧形状の断面形状にあわせてそのようにしている。例えば、四角形の共鳴トンネル構造層 201 の断面形状に対して、四角形や凸型の抵抗層 204 の断面形状でもよい。

【0035】

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 (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好ましい。

20

【0036】

(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は図 3 を参照して説明する。図 3 (a) は本実施形態による共振器の上面図を、図 3 (b) は断面図を表している。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よく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 Ω 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。

30

40

【0037】

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好ましい。

【0038】

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。

50

【実施例】

【0039】

図5は、本実施例による共振器を示すもので、図5(a)は構造の上面図、図5(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501とn-InGaAsによる電氣的接点層502、503を伴い、さらに、n-InPによる抵抗層504とを備える。共鳴トンネル構造層501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502側から電気接点503側へ順に、AlAs1.3nm/InGaAs7.6nm/InAlAs2.6nm/InGaAs5.6nm/AlAs1.3nm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504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505、507間に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)561を備える。導体507(接地金属571と金属接点層572)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571は、例えばTi/Au、金属接点層572はInP基板上の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51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51が抵抗層504、金属接点層572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551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551の負荷を50の仕様とする。そのためにBCB561の膜厚は約3 μm が必要である。ゆえに、抵抗層504の膜厚を3 μm とする。このようなパッチアンテナ551において、共鳴トンネル構造層501の断面積が3 μm^2 のとき、発振周波数は約0.4THzと見積もられる。

【0040】

本実施例の抵抗層504の断面積は3 μm^2 より大きく、好ましくは表皮深さを考慮して断面形状が決定される。抵抗層504における表皮深さは、発振周波数0.4THzにおいて、2 μm と見積もられる。ゆえに、抵抗層604の断面形状を、例えば、直径4 μm の円形とする。

【0041】

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。

【0042】

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51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-InP572、n-InP504、n-InGaAs503、アンドープInGaAs/InAlAsによる共鳴トンネル構造層501、n-InGaAs502をピタキシャル成長する。InP基板51としてn型の導電性基板を選択する場合は、n-InGaAs503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501、電気接点層502、503と抵抗層504を、円形のメサ状にエッチングを行う。さらに、共鳴トンネル構造層501と電気接点層502、503については、断面積が3 μm^2 となるような円弧形状のメサ状にエッチングを行う。エッチングにはEB(電子線)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。ホトリソグラフィを用いてもよい。続いて、露出したn-InP572の表面に、リフトオフ法により接地金属571を

形成する。共鳴トンネル構造層 5 0 1 における側壁の保護のためのパッシベーション膜 5 6 2 は、プラズマ C V D 法などによって窒化シリコン 5 6 2 などを成膜すればよい。抵抗層 5 0 4 の膜厚 3 μ 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 - I n G a A s 5 0 2 を露出させるように B C B 5 6 1 を膜厚約 3 μ m に形成する。最後に、リフトオフ法により T i / P d / A u 5 0 5 を形成して、本実施例の共振器は完成する。

【 0 0 4 3 】

また、実施例 1 の変形例として、同じパッチアンテナを用いて、図 6 のような共振器構成も考えられる。実施例 1 では、上面から見る共鳴トンネルダイオードの位置は正方パッチ 5 5 1 の端となってしまう、入力インピーダンスの調整には限りがあった。しかし、変形例のように正方パッチ 6 5 1 にスリットを入れることによって、実質、正方パッチ 6 5 1 の内側に位置させていることと同じになるので、さらに入力インピーダンスの調整を行うことも可能である。このとき、共鳴トンネル構造層 6 0 1、電気接点層 6 0 2、6 0 3 と抵抗層 6 0 4 は、角形のメサ状でもよい。

10

【 0 0 4 4 】

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 】

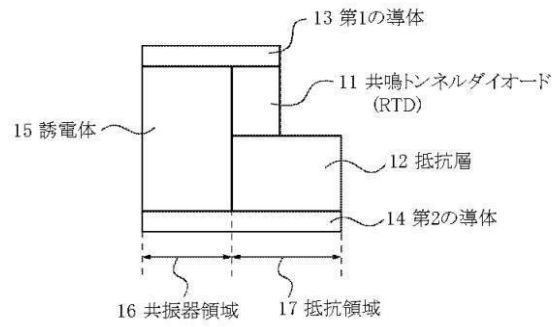
【 0 0 4 5 】

- 1 1 共鳴トンネルダイオード
- 1 2 抵抗層
- 1 3 第 1 の導体
- 1 4 第 2 の導体
- 1 5 誘電体

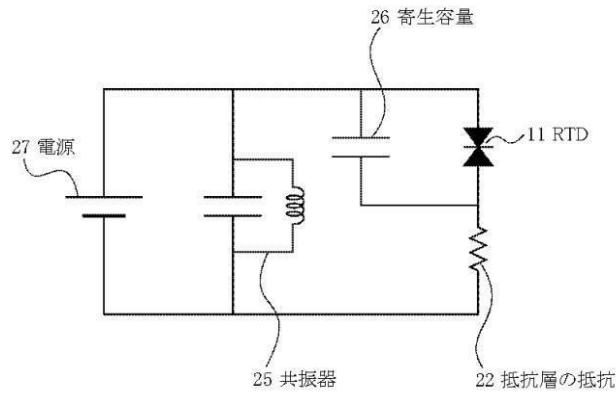
20

【図 1】

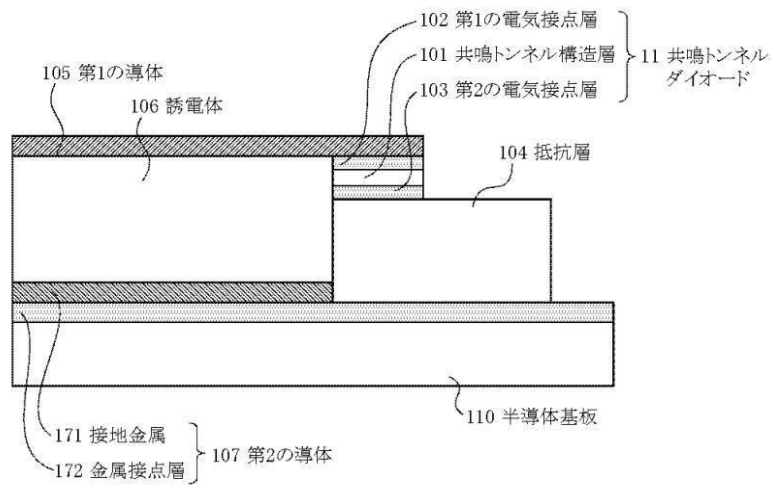
(a)



(b)

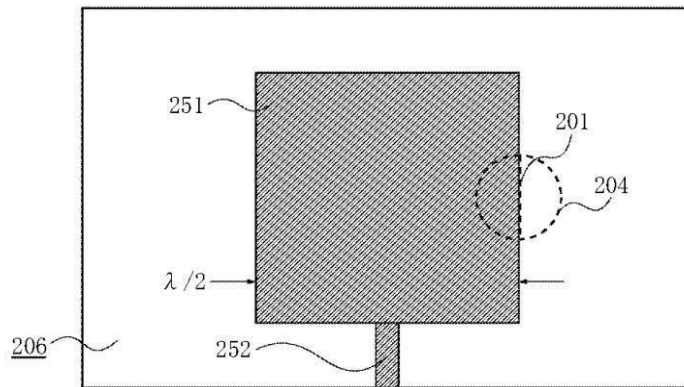


(c)

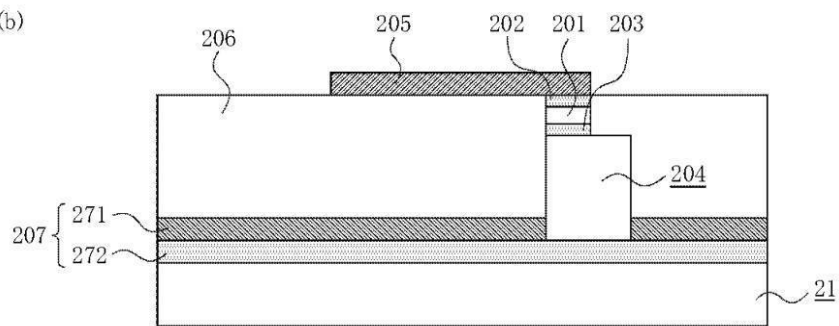


【図 2】

(a)

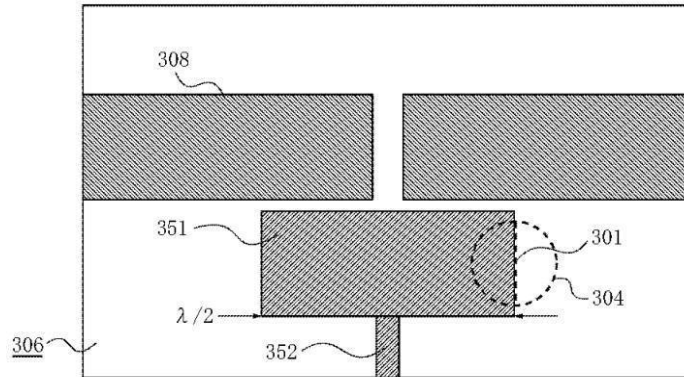


(b)

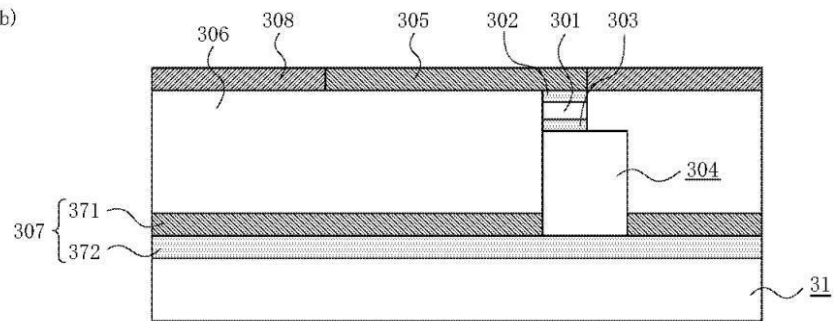


【図 3】

(a)

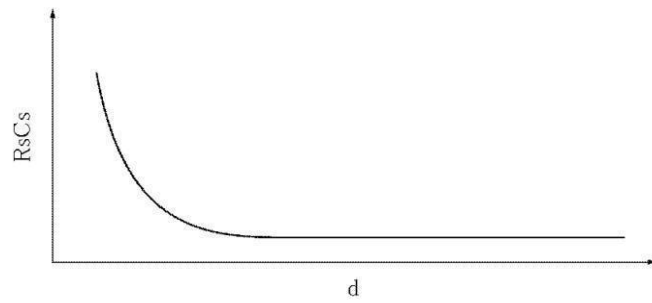


(b)

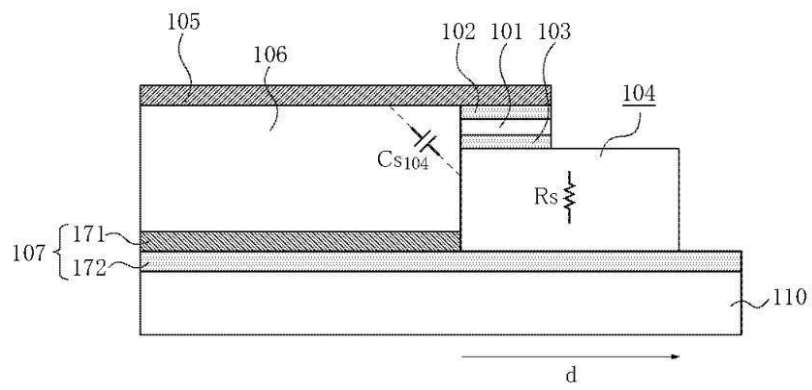


【図4】

(a)

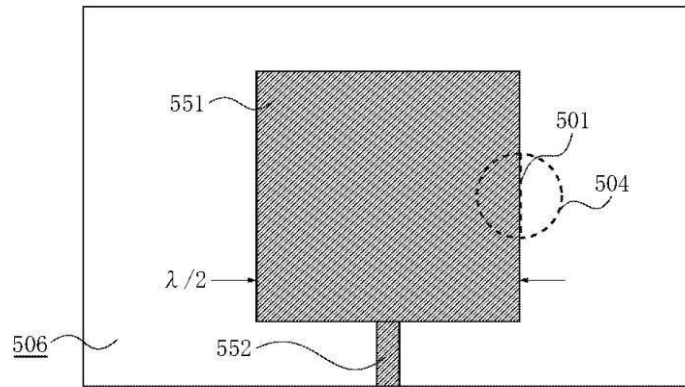


(b)

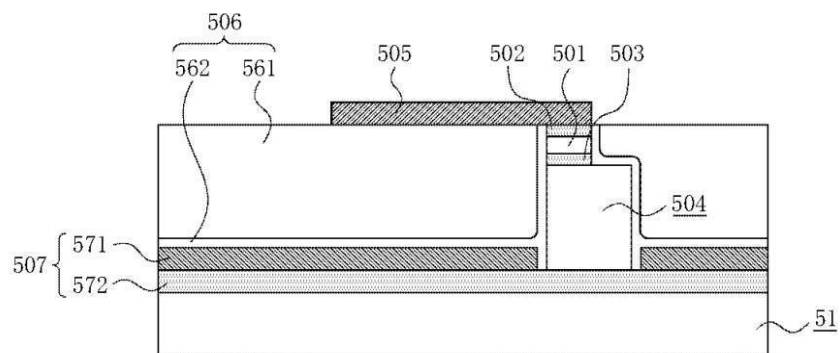


【図 5】

(a)

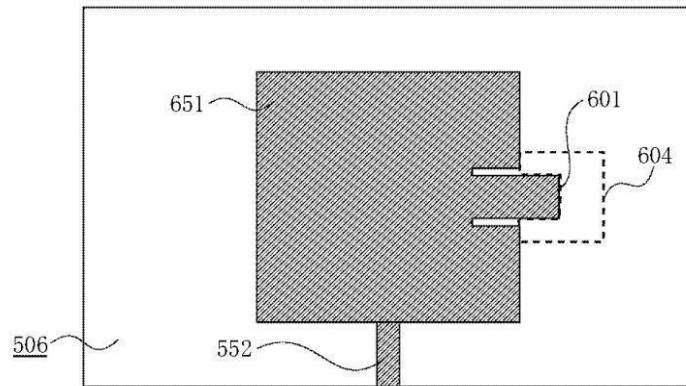


(b)

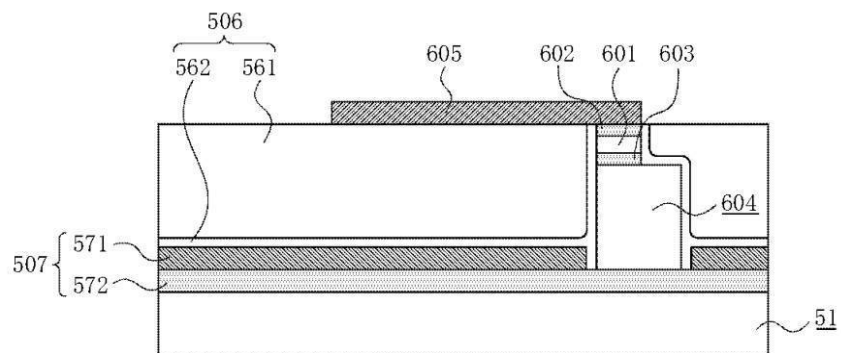


【図 6】

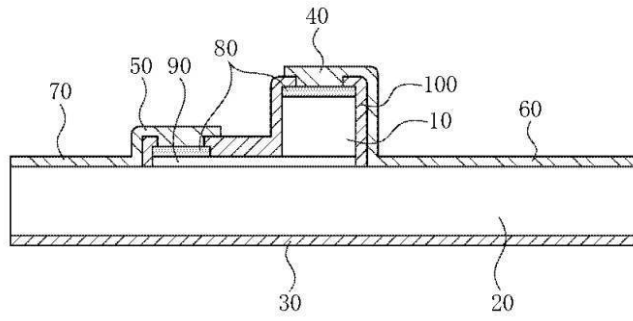
(a)



(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06-204504(JP,A)
特開平08-116074(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