(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6100024号
(P6100024)
(45)発行日　平成29年3月22日(2017.3.22)　(24)登録日　平成29年3月3日(2017.3.3)

(51)Int.Cl.　F I
H03B 7/08 (2006.01)　H03B 7/08

請求項の数 11　(全 12 頁)

(21)出願番号　特願2013-37666(P2013-37666)
(22)出願日　平成25年2月27日(2013.2.27)
(65)公開番号　特開2014-165860(P2014-165860A)
(43)公開日　平成26年9月8日(2014.9.8)
審査請求日　平成28年2月28日(2016.2.28)

(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　100086483
弁理士　加藤　一男
(72)発明者　立石　禄則
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】発振素子

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
電磁波を共振軸方向に沿って共振させるための共振部と前記共振部に対して電気的に並列に接続された容量部を備えた発振素子であって、
前記共振部は、前記電磁波に対して利得を有する負性抵抗部と前記負性抵抗部を挟むように接触している第一の導体層及び第二の導体層とを含んで構成され、
前記共振部に前記容量部を電気的に接続する配線と前記容量部が有するインダクタンスＬｓと、前記共振部の内部容量Ｃｗｇと、による共振の共振周波数f_{LC}において、前記インダクタンスＬｓ、前記配線と前記容量部が有している抵抗成分Ｒｓ、及び前記容量部が有する容量Ｃ、からなるコンダクタンスが、前記負性抵抗部が有する負性コンダクタンスの絶対値Ｇｗｇ以上であることを特徴とする発振素子。
【請求項２】
前記共振部の第一の導体層及び第二の導体層は、それぞれ、誘電率実部が負の負誘電率媒質を含み、前記負性抵抗部と共にプラズモン導波路構造を構成することを特徴とする請求項１に記載の発振素子。
【請求項３】
前記インダクタンスＬｓと前記容量Ｃと、による共振の直列共振周波数において、
前記負性抵抗部が有する負性コンダクタンスの絶対値をＧｗｇ、前記抵抗成分をＲｓとしたとき、１／ＲｓがＧｗｇ以上であることを特徴とする請求項１または２に記載の発振素子。

【請求項４】
前記インダクタンスＬｓと前記容量Ｃと、による共振の直列共振周波数において、
前記負性抵抗部が有する負性コンダクタンスの絶対値をＧｗｇ、前記抵抗成分をＲｓとしたとき、Ｒｓが０．１４３×（Ｇｗｇ）$^{-0.12}$Ω以下であることを特徴とする請求項１または２に記載の発振素子。
【請求項５】
前記容量部の容量Ｃは、前記共振部の内部容量Ｃｗｇ以上であることを特徴とする請求項１から４のいずれか１項に記載の発振素子。
【請求項６】
前記共振周波数f_{LC}は、前記共振部によって決まる発振周波数f_0以下であることを特徴とする請求項１から５のいずれか１項に記載の発振素子。
【請求項７】
前記共振部の負性抵抗部は、キャリアのサブバンド間遷移によりテラヘルツ波を発生する量子井戸構造の半導体多層膜を含み構成されることを特徴とする請求項１から６のいずれか１項に記載の発振素子。
【請求項８】
前記電磁波は、３０ＧＨｚから３０ＴＨｚまでの周波数領域の成分を含む電磁波であることを特徴とする請求項１から７のいずれか１項に記載の発振素子。
【請求項９】
前記共振部は、前記負性抵抗部と前記第一の導体層及び第二の導体層によるストライプ構造導波路を有し、
前記容量部は、前記ストライプ構造導波路と並行して設けられ、
前記配線の距離が、前記Ｒｓに係る条件を満たす距離であることを特徴とする請求項１から８のいずれか１項に記載の発振素子。
【請求項１０】
前記共振部と前記容量部の距離が前記共振部の共振軸方向に沿って周期的に変化することを特徴とする請求項１から８のいずれか１項に記載の発振素子。
【請求項１１】
前記共振部と前記容量部の距離が前記共振部の共振軸方向に沿ってテーパー状に変化することを特徴とする請求項１から８のいずれか１項に記載の発振素子。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、発振素子に関する。特には、例えばミリ波帯からテラヘルツ帯（３０ＧＨｚから３０ＴＨｚ）までの周波数領域の電磁波（以下、テラヘルツ波とも記す）に係る発振素子に関する。
【背景技術】
【０００２】
テラヘルツ波の周波数領域には、生体材料・医薬品・電子材料などの多くの有機分子について、構造や状態に由来した吸収ピークが存在する。また、テラヘルツ波は、紙・セラミック・樹脂・布といった材料に対して高い透過性を有する。近年、この様なテラヘルツ波の特徴を活かしたイメージング技術やセンシング技術の研究開発が行われている。例えば、Ｘ線装置に代わる安全な透視検査装置や、製造工程におけるインラインの非破壊検査装置などへの応用が期待されている。
【０００３】
電流注入型のテラヘルツ波光源として、半導体量子井戸構造における電子のサブバンド間遷移に基づいた電磁波利得を利用する構造が検討されている。非特許文献１は、負性抵抗素子として共鳴トンネルダイオード（ＲＴＤ；Ｒｅｓｏｎａｎｔ－Ｔｕｎｎｅｌｉｎｇ－Ｄｉｏｄｅ）を用い、共振器としてスロットアンテナを用いた発振器を開示している。非特許文献１におけるスロットアンテナは、半導体基板上の金属パターンで構成され、その

スロットの端部に容量を備えている。非特許文献１の発振器は、更に、整流ダイオードも備えている。ここで、整流ダイオードは、負性抵抗素子を用いた発振器で問題となる寄生発振を抑制するための安定化回路をなしている。寄生発振とは、所望の周波数とは異なる低周波側の周波数帯における寄生的な発振のことを指す。こうした寄生発振は所望の周波数における発振出力を著しく低下させる。このため、負性抵抗素子を用いた発振器において安定化回路の存在は非常に重要といえる。

【０００４】

寄生発振を抑制するためには、発振器の発振波長をλ_{osc}、発振周波数をω_{osc}とすると、ＤＣ以上ω_{osc}未満の周波数領域において、バイアス供給のための電源側のインピーダンスが低いことが必要である。そのための一つの方法として、ＲＴＤから見て電源側に向かってλ_{osc}／４以内の位置に低インピーダンス回路（例えば、シャント整流ダイオードなど）が安定化回路として配置される。非特許文献１の例では、こうした低インピーダンス回路として、ＲＴＤから見て電源側に向かってλ_{osc}／４以内の位置に整流ダイオードを集積している。

【０００５】

一方、非特許文献２では、量子カスケードレーザ（ＱＣＬ）においてＤｏｕｂｌｅ－Ｓｉｄｅｄ－Ｍｅｔａｌ（ＤＳＭ）導波路共振器構造がテラヘルツ帯の低損失導波路として提案されている。ここで、ＤＳＭ導波路をＲＴＤの共振器として用いた場合、ＱＣＬでは利得をもつ周波数範囲が狭いのに対して、ＲＴＤはＤＣ～テラヘルツ帯と広い周波数範囲で利得を持つため、周波数の安定化が重要になってくる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【０００６】

【非特許文献１】ＩＥＥＥ Ｅｌｅｃｔｒｏｎ Ｄｅｖｉｃｅ Ｌｅｔｔｅｒｓ, Ｖｏｌ １８, ２１８（１９９７）

【非特許文献２】Ａｐｐｌ．ｐｈｙｓ．Ｌｅｔｔ．８３，２１２４（２００３）

【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の寄生発振抑制の手法は、あくまでスロット型共振器の為の構成を述べているため、ＤＳＭ導波路を共振器とした場合に、これを適用することは容易ではなかった。また、非特許文献２で示されるプラズモン導波路構造を共振器とした構造をＲＴＤ発振器で利用すると、電源バイアス回路による寄生発振や、プラズモン導波路構造内の内部容量や配線に起因した自己インダクタンスによる意図せぬ共振が発生する可能性があった。その結果、プラズモン導波路そのものの共振器による発振の出力を著しく低下させていた。

【課題を解決するための手段】

【０００８】

上記課題に鑑み、本発明の発振素子は、電磁波を共振軸方向に沿って共振させるための共振部とこの共振部に対して電気的に並列に接続された容量部を備える。共振部は、電磁波に対して利得を有する負性抵抗部とこの負性抵抗部を挟むように接触している第一の導体層及び第二の導体層とを含んで構成される。また、共振部に容量部を電気的に接続する配線と容量部が有するインダクタンスＬｓと、共振部の内部容量Ｃｗｇと、による共振の共振周波数f_{LC}において、インダクタンスＬｓ、配線と容量部が有している抵抗成分Ｒｓ、及び容量部が有する容量Ｃ、からなるコンダクタンスが、負性抵抗部が有する負性コンダクタンスの絶対値Ｇｗｇ以上である。すなわち、前記コンダクタンスが、前記負性抵抗部が有するコンダクタンスの絶対値以上となるように、共振部と容量部を近接させ、配線と容量部が有する抵抗を設定する。

【発明の効果】

【０００９】

本発明によれば、プラズモン導波路構造などの共振部と電気的に並列に接続した容量部に

おいて、前記共振部と容量部を近接させることにより共振部と容量部を接続する配線の抵抗を小さくする。これにより、共振部の内部容量と、共振部と容量部を接続する配線のインダクタンスと、による寄生発振の周波数における損失が増大する。この損失を、負性抵抗部により発生する利得より大きくすることにより、共振部の内部容量と、共振部と容量部を接続する配線のインダクタンスによる寄生発振を抑圧し、より安定した所望の発振を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】本発明の発振素子の実施形態を説明する斜視図。

【図２】本発明の発振素子の実施形態を説明する断面図。

【図３】本発明の発振素子の実施形態を説明する等価回路図。

【図４－１】コンダクタンスと抵抗成分の関係を示す図。

【図４－２】コンダクタンスと抵抗成分の関係を示す図。

【図５】本発明の発振素子の実施例１を説明する上面図。

【図６】本発明の発振素子の実施例２を説明する上面図。

【図７】本発明の発振素子の実施例２のコンダクタンスの周波数依存性を説明する図。

【図８】本発明の発振素子の実施形態２を説明する上面図。

【発明を実施するための形態】

【００１１】

本発明の発振素子は、前記共振周波数f_{LC}において、配線と容量部が有するインダクタンスＬｓと抵抗成分Ｒｓ、及び容量部が有する容量Ｃ、からなるコンダクタンスが、負性抵抗部の負性コンダクタンスの絶対値Ｇｗｇ以上であることを特徴とする。

【００１２】

本発明の実施形態及び実施例を説明する。

発振素子の一実施形態について、図１、図２及び図３を用いて説明する。図１から図３において、本実施形態の発振素子は、共振部１１０、容量部１０９、抵抗部（図３の回路でＲ３０６で表示されている）で構成される。共振部１１０は、負性抵抗部１０３、第一の導体層１０２、第二の導体層１０４から構成される。すなわち、共振部は、電磁波に対して利得を有する負性抵抗部とこの負性抵抗部を挟むように接触している第一の導体層及び第二の導体層とを含んで構成されている。容量部１０９は、誘電体１０５、第一の導体層１０２、第三の導体層１０６から構成される。共振部１１０は、基板１０１上に集積されており、共振部１１０の側部には層間絶縁膜１０７が配置された構成となっている。

【００１３】

負性抵抗部１０３は、テラヘルツ波を発生する半導体多層膜を含んでおり、テラヘルツ波の周波数領域における電磁波利得を有している。負性抵抗部１０３は、例えば、共鳴トンネルダイオードやガンダイオードが適用できる。本実施形態では、負性抵抗部１０３として、共鳴トンネルダイオード（ＲＴＤ）を用いている。発振素子は、第一の導体層１０２と第二の導体層１０４との間に外部電源からバイアスを印加することで、負性抵抗部１０３にバイアスを印加する構成となっている。ここで、第一の導体層１０２と第二の導体層１０４は、金属（Ｔｉ、Ｍｏ，Ｗ、Ａｇ，Ａｕ，Ｃｕ，Ａｌ，ＡｕＩｎ合金など）、半金属（Ｂｉ，Ｓｂ，ＩＴＯ,ＥｒＡｓなど）、高濃度にドーピングされた半導体などを好適に用いることができる。また、前記金属、半金属、高濃度にドーピングされた半導体等を積層して用いることもできる。

【００１４】

共振部１１０は、次の如き積層膜をクラッドとして、コアとなる負性抵抗部１０３に含まれているＲＴＤを挟んだＤＳＭ型のプラズモン導波路構造である。すなわち、第一の導体層１０２と負性抵抗部１０３に含まれる高濃度にドーピングされた半導体層との積層膜、及び、第二の導体層１０４と負性抵抗部１０３に含まれる高濃度にドーピングされた半導体層との積層膜をクラッドとしている。従って、導体層１０２と導体層１０４は、共振部１１０で規定される発振波長をλｇとすると、λｇ／２以下、好ましくはλｇ／１０程度

まで近接されている。つまり、共振部の第一の導体層及び第二の導体層は、それぞれ、誘電率実部が負の負誘電率媒質を含み、負性抵抗部と共にプラズモン導波路構造を構成している。こうして、テラヘルツ波の周波数領域の電磁波は、共振部１１０を、回折限界が存在しない表面プラズモンモードで伝搬する。前記発振波長λｇは、半導体レーザ技術で知られるように、電磁波の伝搬方向となる共振部１１０の長手方向の長さＬをλｇ／２の整数倍となるように設定することで規定される。図３の等価回路上では、共振部１１０は、２導体間の距離や面積によって決まる容量Ｃｗｇ３０２、コンダクタンス－Ｇｗｇ３０１で表示される。発振周波数ｆ$_0$は主に共振部１１０の長さ及び幅で決まる。

【００１５】

本実施形態の発振素子は、ストライプ構造導波路であるプラズモン導波路構造の共振部１１０の近傍に、層間絶縁膜１０７により離間して、第一の導体層１０２、誘電体層１０５、第三の導体層１０６からなる容量部１０９を備えている。また、電源回路部による比較的低周波（～数ＧＨｚ）の寄生発振を抑圧するために、共振部１１０及び容量部１０９と電気的に並列に抵抗部３０６を構成する。この様に、容量部は、前記ストライプ構造導波路と並行して設けられている。抵抗部３０６の抵抗値Ｒは、前記負性抵抗部１０３の微分負性抵抗の抵抗値の絶対値と同じか、それより小さく設定すると良い。なぜなら、抵抗値は負性抵抗値の絶対値以下でないと、負性抵抗領域でバイアスできないという制約があるからである。すなわち、電源バイアス回路による抵抗値が、負性抵抗部を駆動するときの負荷直線の傾きを決めるからである。容量部１０９は、図３の回路では容量Ｃ３０５で表示され、電源バイアス回路などによる寄生発振を抑圧する役割を有する。

【００１６】

本実施形態は第四の導体層１０８を備える。第四の導体層１０８は、第三の導体層１０６と第二の導体層１０４とを接続している。また、第四の導体層１０８は、第三の導体層１０６と第二の導体層１０４と一体化していてもよい。これにより共振部１１０と容量部１０９とは電気的に並列に接続される。本実施形態は、この第四の導体層１０８で容量部１０９と共振部１１０とを並列に接続したこと、また、その接続構造によりｆ$_0$未満の寄生発振を抑制していることに特徴がある。

【００１７】

ここで、寄生発振の抑圧方法について以下に説明する。

共振部１１０と容量部１０９を接続する第四の導体層１０８と容量部１０９は、その構造に応じた自己インダクタンスＬｓ３０４と抵抗成分Ｒｓ３０３を有する。また、共振部１１０を構成する負性抵抗部１０３は、導体間の距離や面積によって決まる内部容量Ｃｗｇ３０２とコンダクタンス－Ｇｗｇ３０１を有する。自己インダクタンスＬｓ３０４と、共振部１１０を構成する負性抵抗部１０３の内部容量Ｃｗｇ３０２と、において、発振周波数ｆ$_0$未満の共振周波数ｆ$_{LC}$＝１／（２π√（ＬｓＣｗｇ））の寄生発振が生じる可能性がある。このため、従来はＬＣ共振による寄生的な発振の影響で、負性抵抗部１０３と共振部１１０で規定される所望の発振周波数ｆ$_0$での発振を安定して得ることができなかった。

【００１８】

寄生発振を抑圧するためには、共振周波数ｆ$_{LC}$でのアドミッタンスの実部（ＲｅＹ）を大きくし、ＲｅＹ≧Ｇｗｇとすればよい。ここで、アドミッタンスＹは図３のポート３０７から共振部外をみたときのアドミッタンスであり、Ｙ＝（ＲｅＹ）＋ｊ（ＩｍＹ）で表わすことができる。ＲｅＹはアドミッタンスＹの実部であるコンダクタンス成分を表し、ＩｍＹはアドミッタンスＹの虚数部であるサセプタンス成分を表す。本発明の発振器は、例えば、共振部１１０と容量部１０９を接続する第四の導体層１０８と容量部１０９の構造を調整して、インダクタンスＬｓ３０４と抵抗成分Ｒｓ３０３を調整することで前述の寄生発振の抑圧条件を満たすようにしている。ｆ$_{LC}$でのＲｅＹを大きくするためには、共振部１１０と容量部１０９の間の距離Ｄを小さくする、第四の導体層１０８の膜厚を厚くする、などによって、抵抗成分Ｒｓ３０３と自己インダクタンスＬｓ３０４を小さくするとよい。

【００１９】
図４－１（ａ）は本実施形態に開示した構成におけるＲｅＹと抵抗成分Ｒｓ３０３の周波数依存性を示す。計算にはアンシスジャパン（株）のＨＦＳＳを用いた。本実施形態の発振器は、共振部１１０と容量部１０９の間の抵抗成分Ｒｓ３０３を調整して、共振周波数f_{LC}での前述の条件（ＲｅＹ≧Ｇｗｇ）を満たすことで寄生発振を抑圧可能とする領域があることを示している。したがって、負性抵抗部１０３と共振部１１０で規定される所望の発振周波数f_0での発振を安定して得ることができる。
【００２０】
図４－１（ｂ）は、本実施形態に開示した構成での、共振周波数におけるＲｅＹと、共振部１１０と容量部１０９の間の距離Ｄとの依存性を示す。Ｄ＝３５μｍ～２６０μｍ（Ｒｓ換算で０．１６８Ω～０．１８Ω）において、共振周波数f_{LC}でのＲｅＹはＧｗｇ（共振部１１０の長さ５０μｍ、幅５μｍの場合、Ｇｗｇは略０．６Ｓ）未満であるため、寄生発振が発生する。また、Ｄが２５μｍ以下（Ｒｓ換算で０．１５Ω以下）では共振周波数におけるＲｅＹはＧｗｇ以上であるため、寄生発振を抑圧できる。このように第四の導体層１０８と容量部１０９を設計することで、負性抵抗部１０３と共振部１１０で規定される所望の発振周波数f_0を得ることができる。ただし、ＲｅＹは、上記Ｒｓ換算での抵抗成分Ｒｓ３０３を用いて、自己インダクタンスＬｓ３０４と容量部１０９の容量Ｃ３０５による直列共振周波数におけるコンダクタンスの関係（ＲｅＹ＝１／Ｒｓ）から求めた。こうして求めたＲｅＹは、共振周波数f_{LC}でのＲｅＹよりも小さいはずであるので、上記の如き設計にすれば共振周波数f_{LC}における寄生発振を確実に抑圧できることになる。
【００２１】
また、図４－２（ｃ）は本実施形態に開示した構成で、共振周波数におけるＲｅＹと前記抵抗成分Ｒｓ３０３との依存性を示す。ＲｅＹとＲｓの関係を近似式で表わすと、
$Rs = 0.143 \times (ReY)^{-0.12}$
となる。よって、寄生発振を抑圧するためには、ＲｅＹ≧Ｇｗｇを満たせばよいので、負性抵抗部のコンダクタンスの絶対値をＧｗｇ（Ｓ）で表すと、
$Rs \leqq 0.143 \times (Gwg)^{-0.12}$　　式（１）
を満たせばよいことになる。共振部１１０の長さや幅が変化してＧｗｇが変化した場合にも、この式を満たすように第四の導体層１０８と容量部１０９を設計すれば良い。このようにして、本実施形態の発振器は、抵抗成分Ｒｓを$0.143 \times (Gwg)^{-0.12}$Ω以下とすることによって寄生発振を抑制することができる。
【００２２】
この様に、寄生発振を抑制するためには、次の様にすれば良いことが分かる。前記直列共振周波数において、負性抵抗部が有する負性コンダクタンスの絶対値をＧｗｇ、抵抗成分をＲｓとしたとき、１／ＲｓをＧｗｇ以上とする。または、直列共振周波数において、負性抵抗部が有する負性コンダクタンスの絶対値をＧｗｇ、抵抗成分をＲｓとしたとき、Ｒｓを$0.143 \times (Gwg)^{-0.12}$Ω以下とする。
【００２３】
（実施例１）
より具体的な実施例１を説明する。本発明の発振素子の具体的な実施例１について、図１から図５を用いて説明する。図１は本実施例の発振素子１００の斜視図、図２は発振素子１００の断面図、図３は等価回路図、図５は素子全体を上面から見た模式図である。本実施例では、共振部１１０にはプラズモン導波路構造が用いられている。プラズモン導波路は、第一の導体層１０２、負性抵抗部１０３、第二の導体層１０４の順に積層して構成する。負性抵抗部１０３は、キャリアのサブバンド間遷移によりテラヘルツ波（３０ＧＨｚから３０ＴＨｚまでの周波数領域の成分を含む電磁波）を発生するＩｎＧａＡｓ／ＩｎＡｌＡｓ系の３重障壁共鳴トンネルダイオード（ＲＴＤ）を含む半導体積層構造を用いた。ＲＴＤ構造は、次の順に層が積層された量子井戸構造の半導体多層膜である。ｎ－ＩｎＧａＡｓ（厚さ４５０ｎｍ、Ｓｉドープ濃度2×10^{18}ｃｍ$^{-3}$）。ＩｎＧａＡｓ（５ｎ

ｍ）。ＡｌＡｓ（１．３ｎｍ）。ＩｎＧａＡｓ（７．６ｎｍ）。ＩｎＡｌＡｓ（２．６ｎｍ）。ＩｎＧａＡｓ（５．６ｎｍ）。ＡｌＡｓ（１．３ｎｍ）。ＩｎＧａＡｓ（５ｎｍ）。ｎ－ＩｎＧａＡｓ（４５０ｎｍ、Ｓｉドープ濃度２×１０^{18}ｃｍ$^{-3}$）。ＲＴＤ構造の上下に配置された高濃度にキャリアドープしたｎ$^{+}$ＩｎＧａＡｓ（４００ｎｍ、１×１０^{19}ｃｍ$^{-3}$）により、ＲＴＤ構造と第一の導体層１０２及び第二の導体層１０４とを比較的低抵抗で接続する。本実施例では第一の導体層１０２は、Ｔｉ／Ｐｄ／Ａｕ／Ｐｄ／Ｔｉ（各部の厚さ＝２０ｎｍ／２０ｎｍ／４００ｎｍ／２０ｎｍ／２０ｎｍ）の積層膜で構成される。第二の導体層１０４は、Ｔｉ／Ｐｄ／Ａｕ（各部の厚さ＝２０ｎｍ／２０ｎｍ／４００ｎｍ）の積層膜で構成される。基板１０１は、ｐ$^{+}$ＧａＡｓ基板であり、第一の導体層１０２と接続されている。

【００２４】

共振部１１０は、ファブリペロー型の共振器構造であり、電磁波の伝播方向において少なくとも二つの端面を備えている。この端面からの反射を利用して電磁波を定在化するので、伝播方向の長さが発振波長を決める要素となる。本実施例では、共振部１１０の長さを５０μｍ（＝λｇ／２）、幅を５μｍとした。第一の導体層１０２と第二の導体層１０４との距離は、略２μｍと近接されている。電磁波は、共振部１１０内をプラズモンモードで伝搬し、共振部１１０の端面の開放端から放射される。

【００２５】

発振素子１００の構造は、共振部１１０、容量部１０９、抵抗部３０６を、すでに上記実施形態で述べたように構成した。抵抗部３０６の抵抗値Ｒは、前記負性抵抗部１０３の微分負性抵抗のコンダクタンスが略０．６Ｓであるため、１．６７Ω（略１／０.６Ω）以下に設定すると良い。本実施例では抵抗値Ｒは０．３３Ωとした。

【００２６】

第三の導体層１０６は、Ｔｉ／Ｐｄ／Ａｕ（各部の厚さ＝２０ｎｍ／２０ｎｍ／２００ｎｍ）の積層膜、第四の導体層１０８は、Ｔｉ／Ｐｄ／Ａｕ（各部の厚さ＝２０ｎｍ／２０ｎｍ／５００ｎｍ）の積層膜で構成される。誘電体１０５は窒化シリコン（１００ｎｍ）にて構成されている。層間絶縁膜１０７は、テラヘルツ帯で低損失な絶縁材料（例えばＢＣＢなどの樹脂やＳｉＯ$_2$などの無機材料）が好適であり、本実施例ではＢＣＢ（ベンゾシクロブテン）を用いている。

【００２７】

容量部１０９の容量Ｃ３０５は、発振素子や電源バイアス回路などによる寄生発振を抑圧し、且つ負性抵抗部１０３と共振部１１０による発振周波数ｆ$_0$を許容するように設定する必要がある。そこで、前記容量部１０９の容量Ｃ３０５を略２００ｐＦ、共振部１１０の長さを５０μｍ、幅を５μｍとし（Ｇｗｇ＝０．６Ｓ）、共振部１１０と容量部１０９の距離Ｄを２５μｍから２６０μｍの発振素子を作製し、寄生発振の有無を調べた。ここで、容量部１０９の容量Ｃは共振部１１０の内部容量Ｃｗｇ以上としている。こうすることで、前記共振周波数ｆ$_{LC}$や直列共振周波数を、共振部によって決まる発振周波数ｆ$_0$以下とすることができる。Ｄ＝２６０μｍの発振素子では、負性抵抗部１０３と共振部１１０による発振周波数ｆ$_0$＝０．２４ＴＨｚ（λｇ／２にあたる）が観察されるが、略０．０８ＴＨｚピッチの寄生発振のピークも観察される。また、共振部１１０と容量部１０９の距離をＤ＝１６０μｍ、６０μｍ、３５μｍと短くすることによって、抵抗成分Ｒｓ３０３は０．１８Ωから０．１６５Ωへと小さくなる。それに伴い、寄生発振は小さくなるが、寄生発振の抑圧は十分でない。更に、Ｄ＝２５μｍまで容量部１０９を共振部１１０に接近させ、上記式（１）を満たすようにＲｓを小さくする（Ｒｓ≦０．１５２Ω）と寄生発振が抑圧され、負性抵抗部１０３と共振部１１０による発振周波数ｆ$_0$＝０．２４ＴＨｚが観察される。

【００２８】

また、図４－２（ｄ）には、Ｄを２５μｍに固定し、共振部１１０の幅を５μｍに固定し、共振部１１０の長さを２０μｍから２００μｍまで変化させた場合の抵抗成分Ｒｓと共振部１１０の長さの関係を示す。これによると、上記式（１）を満たす領域は図４－２（

ｄ）の破線以下であるため、共振部の長さは略５０μｍ以上とすると、寄生発振が抑圧できる。

【００２９】

（実施例２）

図６に実施例２を説明する上面模式図を示す。共振部１１０及び容量部１０９の膜構成、構造については実施例１と同じものを用い、共振部１１０の長さは１００μｍ、幅は１０μｍ（Ｇｗｇ＝２．４１Ｓ）とする。図６では、共振部１１０の共振方向を軸として容量部１０９の位置が非対称の構造を用いる。共振部と容量部の距離で長い側をＤ１、短い側をＤ２とする。本実施例ではＤ１＝３５μｍ、Ｄ２＝１５μｍとし、図７に、コンダクタンスＲｅＹ及びサセプタンスＩｍＹの周波数依存性を示す。自己インダクタンスＬｓと容量Ｃとによる直列共振周波数におけるＲｅＹから抵抗Ｒｓ（ＲｅＹ＝１／Ｒｓ）を求める。すると、０．０８５Ω（図７において、ＲｅＹの略ピークのところの周波数が直列共振周波数であり、この値（１２）を用いて、略１／１２Ωである）となり、寄生発振を抑制するための上記式（１）の条件（０．１２９Ω以下）を満たす。また、共振周波数f_{LC}におけるＲｅＹを確認すると、２．６０Ｓとなり負性抵抗部１０３のコンダクタンスＧｗｇ＝２．４１Ｓより大きい。この素子にて発振周波数f_0を確認すると、１３０ＧＨｚとなり、寄生発振は抑圧される。

【００３０】

（実施形態２）

図８（ａ）、図８（ｂ）に実施形態２を説明する上面模式図を示す。共振部１１０及び容量部１０９の膜構成、構造については実施例１と同じものを用い、共振部１１０の長さは２００μｍ、幅は５μｍ（Ｇｗｇ＝２．４１Ｓ）とする。図８（ａ）では、共振部１１０と容量部１０９の距離Ｄが共振部１１０の共振軸方向に沿ってテーパー状に変化する構造を用いる。Ｄ３＝２５μｍ、Ｄ４＝１５μｍとして、前記実施形態で述べた原理に基づいて共振部１１０と容量部１０９を接続する第四の導体層１０８と容量部１０９を設計すると、抵抗成分Ｒｓが０．１２９Ω以下となる。こうして、寄生発振を抑圧でき、発振周波数１８２ＧＨｚが得られる。この構成によれば、電磁波が射出される外部とのインピーダンスの整合を比較的柔軟かつ容易に行うことができる。

【００３１】

また、図８（ｂ）では、共振部１１０と容量部１０９の距離Ｄが共振部１１０の共振軸方向に沿って周期的に変化する構造を用いた。Ｄ５＝３５μｍ、Ｄ６＝２５μｍとして、前記実施形態で述べた原理に基づいて共振部１１０と容量部１０９を接続する第四の導体層１０８と容量部１０９を設計すると、抵抗成分Ｒｓが０．１２９Ω以下となり、寄生発振を抑圧できる。この構成によれば、発振周波数f_0を、より安定化することができる。

【００３２】

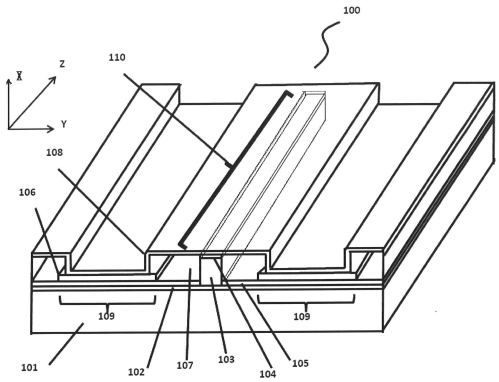
以上、本発明の実施形態と実施例について説明したが、本発明はこれらの実施形態と実施例に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【符号の説明】

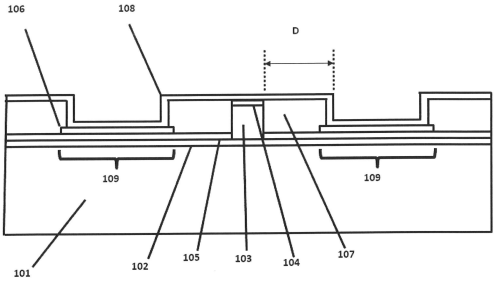
【００３３】

１０２：第一の導体層、１０３：負性抵抗部（コア層、利得媒質）、１０４：第二の導体層、１０５：誘電体層、１０６：第三の導体層、１０８：第四の導体層（配線）、１０９：ＭＩＭ容量部、１１０：共振部

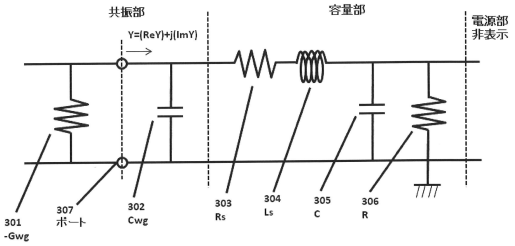
【図１】


100
110
Z
X
Y
108
106
109
109
101
102
107
103
104
105

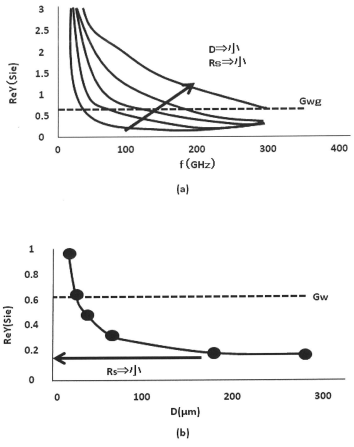
【図２】


106
108
D
109
109
101
102
105
103
104
107

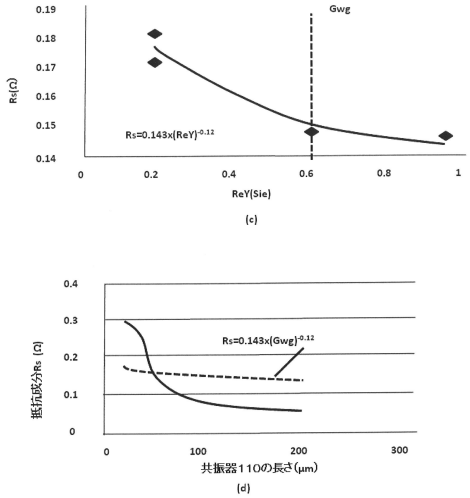
【図３】


共振部
容量部
電源部
非表示
Y=(ReY)+j(ImY)
301
-Gwg
307
ポート
302
Cwg
303
Rs
304
Ls
305
C
306
R

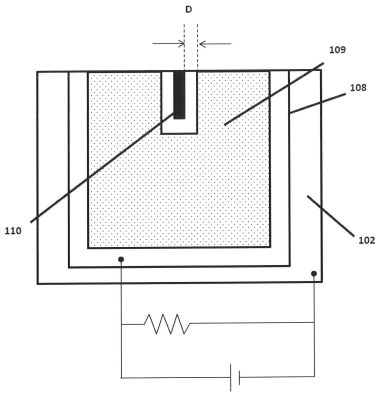
【図４－１】


ReY(Sie)
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0
100
200
300
400
f(GHz)
D⇒小
Rs⇒小
Gwg
(a)
ReY(Sie)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
100
200
300
D(μm)
Gw
Rs⇒小
(b)

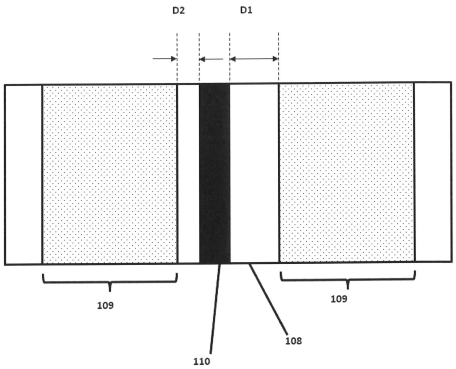
【図４－２】


Gwg
Rs=0.143x{ReY}^-0.12
Rs(Ω)
ReY(Sie)
(c)
Rs=0.143x{Gwg}^-0.12
抵抗成分Rs (Ω)
共振器110の長さ(μm)
(d)

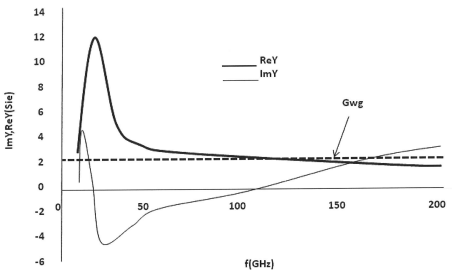
【図５】


D
109
108
110
102

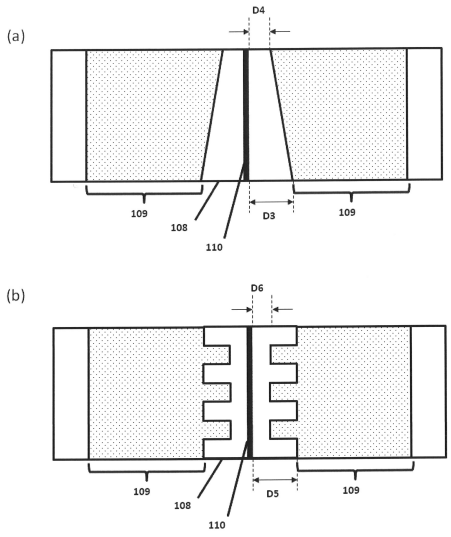
【図６】


D2
D1
109
109
110
108

【図７】


ReY
ImY
Gwg
ImY,ReY(Sie)
f(GHz)

【図８】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開２０１０－２５２２９９（ＪＰ，Ａ）
特開２０１１－０６１２７６（ＪＰ，Ａ）
特開２００９－０５９９２２（ＪＰ，Ａ）
特開２０１１－０６１２７４（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－２３３０３０（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－０５７１６１（ＪＰ，Ａ）
M. Reddy, R. Y. Yu, H. Kroemer, Bias Stabilization for Resonant Tunnel Diode Oscillators, IEEE MICROWAVE AND GUIDED WAVE LETTERS, 米国, IEEE, １９９５年 ７月, VOL. 5. NO. 7, 219-221

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)
Ｈ０３Ｂ ７／０８