

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電磁波を共振させるための共振部と、
前記共振部の端面に設けられて前記共振部から前記電磁波を出射させるための 2 つの導体層を含む積層構造を有したアンテナ部と、
を備えた電磁波を発振する発振素子であって、
前記 2 つの導体層は、前記積層構造の積層方向に間隔を隔てて少なくとも一部が重なるインピーダンス整合に係る整合領域を有し、
前記整合領域は、前記共振部から前記アンテナ部に向かって伸長する方向に前記積層方向から見て先細りしたテーパ状を有することを特徴とする発振素子。

10

【請求項 2】

前記共振部は、第一の導体層、電磁波に対して利得を有する利得媒質、第二の導体層がこの順に積層されて構成され、
前記アンテナ部の 2 つの導体層は、利得媒質または絶縁体を介して少なくとも一部が重なって整合領域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】

前記共振部の第一の導体層と第二の導体層は、誘電率実部が負の負誘電率媒質を含む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 2 に記載の発振素子。

【請求項 4】

前記共振部の第一の導体層と第二の導体層は、前記導波路構造の導波モードないし当該発振素子の発振モードにおける電磁波の管内波長以下の距離に近接することを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の発振素子。

20

【請求項 5】

前記共振部は、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多重量子井戸構造を含み構成されることを特徴とする請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載の発振素子。

【請求項 6】

前記第一の導体層と前記 2 つの導体層の一方である第三の導体層とが電氣的に接続され、且つ、前記第二の導体層と前記 2 つの導体層の他方である第四の導体層とが電氣的に接続されることを特徴とする請求項 2 から 5 の何れか 1 項に記載の発振素子。

【請求項 7】

前記整合領域は、前記アンテナ部の入力インピーダンスと前記共振部の特性インピーダンスとを近接させるように構成されることを特徴とする請求項 1 から 6 の何れか 1 項に記載の発振素子。

30

【請求項 8】

当該発振素子において発振した電磁波を自由空間に放射する出射端を有し、
前記アンテナ部は、電磁波の伝播の方向に前記整合領域のテーパ状の幅を徐々に小さくして前記出射端において自由空間に整合するようにした開口アンテナであることを特徴とする請求項 1 から 7 の何れか 1 項に記載の発振素子。

【請求項 9】

前記アンテナ部は、前記 2 つの導体層である第三の導体層と第四の導体層がそれぞれ異なる層にて形成される平面型アンテナであることを特徴とする請求項 1 から 8 の何れか 1 項に記載の発振素子。

40

【請求項 10】

前記アンテナ部は、第一の基板、前記 2 つの導体層の一方である第三の導体層、層間絶縁膜、前記 2 つの導体層の他方である第四の導体層、第二の基板の順に重なって構成されることを特徴とする請求項 1 から 9 の何れか 1 項に記載の発振素子。

【請求項 11】

前記電磁波は、30 GHz から 30 THz までの周波数領域の電磁波であることを特徴とする請求項 1 から 10 の何れか 1 項に記載の発振素子。

【請求項 12】

50

電磁波を共振させるための共振部と、
前記共振部の端面に設けられて前記共振部へと前記電磁波を入射させるための２つの導体層を含む積層構造を有したアンテナ部と、
を備えた電磁波を検出する受信素子であって、
前記２つの導体層は、前記積層構造の積層方向に間隔を隔てて少なくとも一部が重なるインピーダンス整合に係る整合領域を有し、
前記整合領域は、前記共振部から前記アンテナ部に向かって伸長する方向に前記積層方向から見て先細りしたテーパ状を有することを特徴とする受信素子。

【請求項１３】

発振素子から出射した電磁波が照射された検体からの電磁波を受信素子で検出する測定装置であって、
前記発振素子と前記受信素子のうちの少なくとも一方が、請求項１から１１の何れか１項に記載の発振素子、または請求項１２に記載の受信素子であり、
検体と相互作用した前記電磁波を検出し、検出した信号から検体の情報を取得することを特徴とする装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、発振器、受信素子、それらの製造方法、被検体の測定装置等に関する。例えば特に、ミリ波帯からテラヘルツ波帯（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）に係る導波路、該導波路を含み該電磁波を発生する発振素子などの光素子に関する。

【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、このよう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には、低損失の導波路として知られるDouble-side Metal Waveguide（以下、DMWとも記す）を共振器として集積したテラヘルツ波帯の量子カスケードレーザ（Quantum Cascade Laser：QCL）が提案されている。本素子は、１０μm程度の薄さの半導体薄膜からなる利得媒質の上下に金属を配置した共振器構造に、誘導放出されたテラヘルツ波を表面プラズモンモードで導波させることで、高い光閉じ込めと低損失伝播により３ＴＨｚ近傍のレーザ発振を達成している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【特許文献１】特表２０１０－５１０７０３号公報

【特許文献２】米国特許公開２００７／０１１６４２０号公報

【非特許文献】

【０００５】

【非特許文献１】Appl. Phys. Lett. 83, 2124 (2003)

【非特許文献２】OPTICS LETTERS, VOL. 32, ISSUE 19, PP. 2840 - 2842 (2007)

10

20

30

40

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

DMWは、導波路と空間とのモードミスマッチに起因した端面反射の増加が生じるため、電磁波の効率的な利用と取り回しが課題となっている。これについて、非特許文献2には、導波路の端にシリコンレンズを配置して取り出し効率や指向性を改善する方法が提案されている。しかし、これは、機械的に安定であるとはいえない上、シリコンレンズ等の追加の部材が必要となり、コストアップとなり易い。また、特許文献1には、ホーンアンテナを集積した例が開示されている。しかしながら、構成上、機械的な安定性が充分とはいえない上に、アンテナ部分が立体構造であるため、作製プロセスが複雑となり易い。また、特許文献2には、共振領域（定常波領域）において電極が一部重なる構成が開示されているが、この重なり領域は、共振部に接続されたアンテナ部にあるものではないし、インピーダンス整合に係るものでもない。

10

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題に鑑み、本発明の発振素子は、電磁波を共振させるための共振部と、前記共振部の端面に設けられて前記共振部から前記電磁波を出射させるための2つの導体層を含む積層構造を有したアンテナ部と、を備える。前記2つの導体層は、前記積層構造の積層方向に間隔を隔てて少なくとも一部が重なるインピーダンス整合に係る整合領域を有する。また、前記整合領域は、前記共振部から前記アンテナ部に向かって伸長する方向に前記積層方向から見て先細りしたテーパ状を有する。

20

【0008】

また、上記課題に鑑み、本発明の受信素子は、電磁波を共振させるための共振部と、前記共振部の端面に設けられて前記共振部へと前記電磁波を入射させるための2つの導体層を含む積層構造を有したアンテナ部、を備える。前記2つの導体層は、前記積層構造の積層方向に間隔を隔てて少なくとも一部が重なるインピーダンス整合に係る整合領域を有する。また、前記整合領域は、前記共振部から前記アンテナ部に向かって伸長する方向に前記積層方向から見て先細りしたテーパ状を有する。

【0009】

また、上記課題に鑑み、発振素子から出射した電磁波が照射された検体からの電磁波を受信素子で検出する本発明の測定装置は、前記発振素子と前記受信素子のうちの少なくとも一方が、上記発振素子または上記受信素子であり、検体と相互作用した前記電磁波を検出し、検出した信号から検体の情報を取得することを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、電磁波が共振する共振部と接続されたアンテナ部の該共振部側にテーパ状の整合領域が設けられる。この整合領域の面積や形状などを調整することにより、アンテナ部の入力インピーダンスを調整でき、例えば、共振部の特性インピーダンスとアンテナ部の入力インピーダンスを近接させ、インピーダンス整合をとることができる。また、共振部からアンテナ部に向かって伸長する方向に沿って整合領域をテーパ状に形成し、更に、2つの導体層で開口アンテナを形成して自由空間などの外部との整合をとることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の素子の実施形態を説明する斜視図。

【図2】本発明の素子の実施形態を説明する上面図及び断面図。

【図3】本発明の素子の実施形態を説明する上面拡大図。

【図4】本発明の発振素子の実施形態の出力の計算結果を示すグラフ。

【図5】本発明の素子の実施例1を説明する斜視図。

【図6】本発明の素子の実施例1を説明する上面図。

50

【図 7】本発明の素子の実施例 2 を説明する斜視図。

【図 8】本発明の素子を用いた測定装置を説明する図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明の特徴は、共振部に接続してアンテナ部を備え、アンテナ部の 2 つの導体層の少なくとも一部が重なるインピーダンス整合に係る整合領域が、共振部からアンテナ部への方
向に導体層の積層方向から見て先細りしたテーパ状を有することである。共振部は、例
えば、第一及び第二の導体層の間に電磁波に対して利得を有する利得媒質を備えた D M W
を共振器とした構造を有する。アンテナ部は、例えば、共振部の電磁波が出入射する部分
に、第一及び第二の導体層とそれぞれ電氣的に接続された第三及び第四の導体層を備える
。整合領域は、例えば、共振部とアンテナ部の境界での電磁波の反射を抑えるために、第
三の導体層と第四の導体層の少なくとも一部が利得媒質または誘電体などの絶縁体を介し
て重なっている。その整合領域の面積や形状などを変更することにより、適宜、アンテナ
部の入力インピーダンスを調整したり、第三の導体層と第四の導体層で開口アンテナを形
成して自由空間などの外部と整合をとったりすることができる。このようにして、共振部
内の 3 0 G H z から 3 0 T H z までの周波数領域の電磁波を効率的に利用できる発振素子
などを得ることができる。アンテナ部の 2 つの導体層の重なり態様は、後述する実施形態
や実施例の様に 2 つの導体層の互いの一部が重なる態様の他に、共に先細りしたテーパ
状の 2 つの導体層が完全に重なる態様であったり、先細りしたテーパ状の一方の導体層
の全部が他方の導体層の一部と重なる態様であったりしてもよい。また、特許文献 2 とは
異なり、アンテナ部は共振機能を持たない状態で、効率的に電磁波を取り出すものである
。

10

20

【0013】

以下、図を用いて本発明の実施形態及び実施例を説明する。

（実施形態）

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 は、発振素
子 1 0 0 の外観を示す斜視図で、図 2 (a) は発振素子 1 0 0 の上面図、図 2 (b)、(c) はそれぞれ図 2 (a) の A - A ' 線、B - B ' 線における発振素子 1 0 0 の断面図で
ある。また、図 3 は、複数の変形例のアンテナ部 1 0 2 の整合領域 1 1 0 の上面図である
。

30

【0014】

本実施形態の発振素子 1 0 0 は、共振部 1 0 1 とアンテナ部 1 0 2 で構成される。共振部
1 0 1 は、電磁波利得を有する活性層 1 0 3、第一の導体層 1 0 4、第二の導体層 1 0 5
から構成される。アンテナ部 1 0 2 は、第三の導体層 1 0 6、第四の導体層 1 0 7 から構
成される。共振部 1 0 1 は、基板 1 0 8 上に集積されており、共振部 1 0 1 の側部には層
間絶縁膜 1 0 9 が配置された構成となっている。共振部 1 0 1 は、第一の導体層 1 0 4 と
第二の導体層 1 0 5 とをクラッドとして、この近接した二枚の導体板でコアの活性層 1 0
3 を挟んだ D M W と呼ばれるプラズモン導波路である。この共振部の第一の導体層と第二
の導体層は、誘電率実部が負の負誘電率媒質を含むプラズモン導波路構造を構成する。

40

【0015】

活性層 1 0 3 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多重量子井
戸構造の半導体部を含んでおり、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。活性層 1 0 3 は、例えば、数十層の半導体多層膜からなる共鳴トンネル構造や、数
百から数千層の半導体多層膜からなる量子カスケードレーザ構造などが好適である。本実
施形態では、活性層 1 0 3 として、共鳴トンネルダイオード（以下、R T D とも記す）を
用いた。R T D は、微分負性抵抗領域においてフォトンアシストトンネル現象に基づくミ
リ波からテラヘルツ波の周波数領域の電磁波利得を有する。活性層 1 0 3 は、多重量子井
戸構造の半導体部と第一の導体層 1 0 4 及び第二の導体層 1 0 5 を接続するために高濃度
にドーピングした半導体層を備えてもよい。上記積層構造を有する活性層 1 0 3 により、
その積層方向が規定される。

50

【0016】

活性層103と第一の導体層104及び第二の導体層105とは、それぞれ、機械的かつ電氣的に互いに接している。発振素子100は、第一の導体層104と第二の導体層105との間に外部電源からバイアスを印加することで、活性層103のRTD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104と第二の導体層105は、金属（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。

【0017】

本実施形態の発振素子100は、電磁波の出射する共振部101の端面に第三の導体層106と第四の導体層107からなるアンテナ部102を備えている。図1、図2の構成では第三の導体層106と第四の導体層107の間に層間絶縁膜109が配置される。第三の導体層106は第一の導体層104と、さらに第四の導体層107は第二の導体層105と電氣的に接続する。図1及び図2では第一の導体層104と第三の導体層106は同時に形成され、電氣的に接続されている。また、第二の導体層105と第四の導体層107も同時に形成され、電氣的に接続されている。共振器101とアンテナ部102の間において、第三の導体層と第四の導体層は上記膜の積層方向に重なる整合領域110を備え、整合領域110は共振部101からアンテナ部102に向かって伸長する方向に領域の幅を徐々に小さくしている。つまり、整合領域110は、共振部からアンテナ部への方向に、導体層の積層方向から見て先細りしたテーパ状を有する。

【0018】

整合領域110の幅を徐々に小さくすることによって整合領域110内での電磁波の反射を低減させ、電磁波の減衰を抑えることができる。整合領域110の共振部101に接する部分の幅111を変更することにより、アンテナ部102の入力インピーダンスを調整できる。これにより共振部101の特性インピーダンスとアンテナ部102の入力インピーダンスを近接させ、インピーダンス整合をとることができる。共振部101から出射した電磁波は出射直後には膜の積層方向（図2（a）の紙面に垂直方向）の電界成分を持っている。電磁波は整合領域110を通過し、アンテナ部102を進むことによって電界が90度回転し、偏光方向が図2（a）の紙面の面内方向の方向へと変わる。偏光方向を変えることにより、半導体プロセス等で容易に形成できる平面型のアンテナを構成することができる。すなわち、アンテナ部102は、2つの導体層である第三の導体層と第四の導体層がそれぞれ異なる層にて形成される平面型アンテナである。また、アンテナ部102はテーパスロットアンテナなどのアンテナを形成して、自由空間などの外部との整合をとることにより、共振部101内の電磁波を効率的に利用できる発振素子100を得ることができる。

【0019】

図4に整合領域110の幅111を変化させた場合の電磁波の出力を計算した結果を示す。計算にはアンシスジャパン（株）のHFSSを用いた。図4のグラフの結果を得た構成では、共振部101には後述の実施例1と同じ構造と材料を用い、テーパスロットアンテナの開放端の幅を500 μm 、テーパ角112を20度とした。なお、後述する実施例1で説明する様に、この共振部201の幅は4 μm である。また、図2（a）においては、見易くするために、テーパ角112、共振部201の幅と整合領域110の幅111との比率、テーパスロットアンテナの開放端の幅と整合領域110の幅111との比率などは実際のものとは異なるように描かれている（このことは他の図面でもほぼ同様である）。この構成では、共振部の特性インピーダンスは1以下と小さいため、図4から分かる様に、入力インピーダンスが整合するための整合領域110の幅111は100 μm から200 μm 付近が好ましい。共振器の端面からの反射を利用して電磁波を定在化するファブリペロー型の共振器構造を共振部101に有するため、共振部101と整合領域110の界面では完全にインピーダンス整合せずに、一部電磁波を反射させる必要がある。ここで、第一の導体層104、第二の導体層105、第三の導体層106及び第四の導体層107は、導電率の高い部材、例えば金属、半金属、高濃度にドーピングされた半導

10

20

30

40

50

体、またはこれらの材料から適宜選択された材料を含む積層した導電部材で構成されるのが好ましい。

【0020】

以上の構成は適宜変更して受信素子などとして用いることも可能で、アンテナ部102は、発振アンテナだけでなく、受信アンテナとして機能させることもできる。

こうした受信素子は、電磁波を共振させるための共振部と、共振部の端面に設けられて共振部へと電磁波を入射させるための2つの導体層を含む積層構造を有したアンテナ部と、を備える。ここでも、整合領域は、共振部からアンテナ部に向かって伸長する方向に前記積層方向から見て先細りしたテーパ状を有する。

【0021】

また、整合領域110の形状は、図2(a)や図3(a)の通りの直線的な構成だけでなく、図3(b)で示す様な曲線での構成や、図3(c)で示す様な電磁波の波長の半分/2以下の長さの段差を設けてもよい。すなわち、整合領域110の積層方向から見た形状は上述の形状に必ずしも限定されるものではなく、共振部101からアンテナ部102に向かって伸長する方向に整合領域110の幅が徐々に小さくなる構造であればよい。ここで、「徐々に」とは、単調に連続的であってもよいし、非連続的であってもよく、また多少の幅の増減部分を交えてもよい。

【0022】

また、図1、図2では、整合領域110の第三の導体層106と第四の導体層107で挟まれる部分は層間絶縁膜109で構成されているが、導電部材でなければよく、利得媒質または誘電体や空間などの絶縁層で構成してもよい。さらに図では、対向する2つの導体層は平行に描いてあるが、必ずしも平行でなくてもよい。また、アンテナ部の第三の導体層106と第四の導体層107は、共振部からアンテナ部への方向に伸びる共振部の中心線を挟んで対称に描いてあるが、これも必ずしも対称でなくてもよい。作製の都合上や要求される仕様に応じて、適宜の設計が可能である。

【0023】

以上で説明した様に、本実施形態によれば、電磁波が共振する共振部と電磁波が出射または入射するアンテナ部との間の界面からアンテナ部側に伸びて、共振部とアンテナ部の境界での電磁波の反射を抑えるための整合領域を備える。この整合領域は、アンテナ部を形成する第三の導体層と第四の導体層が利得媒質または誘電体などを介して膜の積層方向に重なっている。そして、この整合領域の面積や形状などを変更することにより、アンテナ部の入力インピーダンスを調整でき、共振部の特性インピーダンスとアンテナ部の入力インピーダンスを近接させ、インピーダンス整合をとることができる。また、共振部からアンテナ部に向かって伸長する方向に沿って整合領域の幅を徐々に小さくし、更に第三の導体層と第四の導体層で開口アンテナを形成することで、自由空間などの外部との整合をとることができる。すなわち、例えば、電磁波を自由空間に放射する出射端を有し、アンテナ部が、電磁波の伝播の方向に整合領域のテーパ状の幅を徐々に小さくして前記出射端において自由空間に整合するようにした開口アンテナを構成することができる。これにより、シリコンレンズなどの追加部品を削減することができ、コストを下げるができる。また、平面アンテナ構造を採用できるため、簡便な作製方法で機械的に安定した、電磁波を効率的に利用できる発振素子や受信素子等の素子の実現できる。

【0024】

以下、より具体的な実施例を説明する。

(実施例1)

本発明の発振素子の具体的な実施例1について、図5と図6を用いて説明する。図5は本実施例の斜視図で、図6は上面図である。本実施例では、活性層203として、サブバンド間遷移によりテラヘルツ波を発生するInGaAs/InAlAs系の3重障壁共鳴トンネルダイオード(RTD)構造を含む半導体積層構造を用いた。RTD構造は、n-InGaAs(厚さ50nm、Si、キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、InGaAs(5nm)、AlAs(1.3nm)、InGaAs(7.6nm)、InAlAs(2

10

20

30

40

50

、 6 nm ）、 InGaAs （ 5.6 nm ）、 AlAs （ 1.3 nm ）、 InGaAs （ 5 nm ）、 $n\text{-InGaAs}$ （ 50 nm 、 Si 、 $2 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ ）の順に積層された半導体量子井戸構造である。RTD構造の上下に配置された高濃度にキャリアドーブした $n^+\text{InGaAs}$ （ 400 nm 、 $1 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ ）により、RTD構造と第一の導体層204及び第二の導体層205とを比較的低抵抗で接続する。

【0025】

本実施例では、第一の導体層204と第三の導体層206は同時に形成され、 Ti/Pd/Au/Pd/Ti （各部の厚さ＝ $20\text{ nm}/20\text{ nm}/400\text{ nm}/20\text{ nm}/20\text{ nm}$ ）の積層膜で構成される。第二の導体層205と第四の導体層207も同時に形成され、 Ti/Pd/Au （各部の厚さ＝ $20\text{ nm}/20\text{ nm}/400\text{ nm}$ ）の積層膜で構成される。基板208は、半絶縁性 GaAs 基板であり、第一の導体層204と機械的に接続されている。層間絶縁膜209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。発振素子200は、第一の導体層204と第二の導体層205に接続された配線（不図示）を介して電源に接続され、駆動用のバイアス電圧が活性層203に供給される。

10

【0026】

共振部201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201の長さを管内波長 λ_g の $1/2$ 倍となる $50\text{ }\mu\text{m}$ 、幅を $4\text{ }\mu\text{m}$ とした。第一の導体層204と第二の導体層205との積層方向の距離は、略 $1\text{ }\mu\text{m}$ と近接している。すなわち、共振部の第一の導体層と第二の導体層は、導波路構造の導波モードないし発振素子の発振モードにおける電磁波の管内波長以下の距離に近接する。共振部201は、発振周波数を 0.2 THz 、管内波長 λ_g を $100\text{ }\mu\text{m}$ として設計されている。電磁波は、共振部201内をプラズモンモードで伝播し、共振部201の端面が開放端となる。発振素子200は、微分負性抵抗領域におけるフォトンアシストトンネル現象に基づいて発生した 0.2 THz の電磁波を、共振部201の端に配置されたアンテナ部202から放射する。

20

【0027】

アンテナ部202において、共振部との界面から伸びて、電磁波の反射を低減するために整合領域210を形成している。整合領域210では、第三の導体層206と第四の導体層207が層間絶縁膜209を介して膜の成長方向に重なっている。本実施例の整合領域210の形状は、共振部201に接した部分の幅211の寸法が $100\text{ }\mu\text{m}$ 、テーパ角度212は 20 度とした。整合領域210の共振部201に接した部分の幅211を変更することにより、アンテナ部202の入力インピーダンスを調整でき、共振部201との整合をとることができる。具体的には、整合領域210の幅211の寸法を大きくすることにより、アンテナ部202の入力インピーダンスを小さくできる。更に、第三の導体層206と第四の導体層207の面内方向の間隔を電磁波の伝播方向に徐々に広げることにより、自由空間との整合をとることができる。本実施例のアンテナ部202はテーパースロットアンテナ構造を構成しており、その最大開口部の幅は略 $700\text{ }\mu\text{m}$ とした。

30

40

【0028】

本実施例の作製方法は例えば以下の工程を有する。基板208として半絶縁性 GaAs 基板を準備し、半絶縁性 GaAs 基板208上に金属層 Ti/Pd/Au （各部の厚さ＝ $20\text{ nm}/20\text{ nm}/200\text{ nm}$ ）を蒸着装置にて形成する。また、前述のRTD構造と高濃度にキャリアドーブした $n\text{-InGaAs}$ をエピタキシャル成長させた InP 基板上に、金属層 Ti/Pd/Au （各部の厚さ＝ $20\text{ nm}/20\text{ nm}/200\text{ nm}$ ）を蒸着装置にて形成する。前記 InP 基板と基板208の上面を対向させて、 Au の熱圧着法で2枚の基板を接合する。ここで、圧着接合により形成した Ti/Pd/Au/Pd/Ti （各部の厚さ＝ $20\text{ nm}/20\text{ nm}/400\text{ nm}/20\text{ nm}/20\text{ nm}$ ）を後述の工程で加工すると第一の導体層204及び第三の導体層206となる。塩酸エッチングにより、接合

50

で一体化した基板から I n P 基板を除去して、半導体層を基板 2 0 8 に転写する。フォトリソグラフィとドライエッチング法により、半導体層を導波路形状に加工し、活性層 2 0 3 を形成する。さらに圧着接合により形成した T i / P d / A u / P d / T i をフォトリソグラフィとドライエッチング法により、第一の導体層 2 0 4 と第三の導体層 2 0 6 に加工する。スパインコート法により層間絶縁膜 2 0 9 で活性層 2 0 3 の構造の埋め込みを行い、ドライエッチング法で活性層 2 0 3 の上部を露出させる。層間絶縁膜には B C B を用いた。そして、真空蒸着法とリフトオフ法を用いて、T i / P d / A u (各部の厚さ = 2 0 n m / 2 0 n m / 2 0 0 n m) からなる第二の導体層 2 0 5 と第四の導体層 2 0 7 を形成する。

【0029】

これにより、シリコンレンズなどの追加部品を使用することなく、簡便な作製方法で、電磁波を利用できる発振素子などが実現できる。また、この構造を用いれば共振器とアンテナ部の整合性を簡便に設計及び達成できる。

【0030】

本発明は、上記構成に限定されるものでない。例えば、本実施例では、活性層 2 0 1 とし、I n P 基板上に成長した I n G a A s / I n A l A s、I n G a A s / A l A s からなる 3 重障壁共鳴トンネルダイオードについて説明してきた。しかし、これらの構造や材料系に限られることなく、他の構造や材料の組み合わせであっても本発明に係る発振素子などの導波路を提供することができる。例えば、2 重障壁量子井戸構造を有する共鳴トンネルダイオードや、4 重以上の多重障壁量子井戸を有する共鳴トンネルダイオード、量子カスケードレーザで知られるようなカスケード接続された多重量子井戸構造などを用いてもよい。R T D を用いた発振素子 2 0 0 では共振部 2 0 1 を構成する 2 層の導体層の間隔が狭く特性インピーダンスが小さいため、整合領域 2 1 0 の幅 2 1 1 が広がる。また、量子カスケードレーザで共振部 2 0 1 を構成する場合、共振部 2 0 1 を構成する 2 層の導体層の間隔が広く特性インピーダンスが大きいため、R T D を共振部とした場合より整合領域 2 1 0 の幅 2 1 1 が狭くなる。

【0031】

これらの構造と材料は、所望される電磁波の周波数などに応じて適宜選定すればよい。また、基板 2 0 8 の材料は用途に応じて選定すればよく、高抵抗シリコン基板、半絶縁性ガリウムヒ素基板、半絶縁性インジウムヒ素基板、半絶縁性ガリウムリン基板などの半導体基板や、ガラス基板、セラミック基板、樹脂基板などを用いてもよい。また、層間絶縁膜 2 0 9 には、S i O₂、ポリシリコン、S i N_x、A l N、T i O₂ などの無機材料や、B C B (ベンゾシクロブテン)、S U - 8、ポリイミドなどの有機材料が好適に用いられる。更に、低導電性の真性半導体を再成長したものを用いてもよい。また、アンテナ部 2 0 2 は V 字アンテナ、ロンビックアンテナ、テーパースロットアンテナ、ビバルディアンテナなどが好適に用いられる。

【0032】

(実施例 2)

本発明の実施例 2 である発振素子 3 0 0 について、図 7 を用いて説明する。図 7 は素子の斜視図である。第一の基板 3 0 3 上に形成された共振部 3 0 1 は実施例 1 と同じ R T D 構造を用いている。また、その他の構成材料は基板を除き実施例 1 と同じものを用い、製造方法も共振部 3 0 1 の作製までは実施例 1 と同じ製造方法で作製した。ここで、基板は第一の基板 3 0 3、第二の基板 3 0 4 とともに高抵抗シリコン基板を用いている。また、実施例 1 で述べたように、第一の基板 3 0 3 及び第二の基板 3 0 4 は、半導体、誘電体若しくは絶縁性材料であればシリコンに限らない。その後、層間絶縁膜 3 0 5 で活性層 3 0 6 の構造の埋め込みを行い、ドライエッチング法で活性層 3 0 6 の上部を露出させ、第二の導体層 3 0 8 を形成する。また、アンテナ部 3 0 2 の第三の導体層 3 0 9 と共振部の第一の導体層 3 0 7 は実施例 1 と同様に同時形成されている。アンテナ部 3 0 2 の第四の導体層 3 1 0 のパターンは第二の接合電極 3 1 2 も兼ねている。第四の導体層 3 1 0 形成と同時に第一の接合電極 3 1 1 も形成する。接合用金バンプ 3 1 4 を第一の接合電極 3 1 1 と第

10

20

30

40

50

二の接合電極 3 1 2 上に形成し、第一の基板 3 0 3 と第二の基板 3 0 4 を対向させ、接合する。この様にして、アンテナ部は、第一の基板、2つの導体層の一方である第三の導体層、層間絶縁膜、2つの導体層の他方である第四の導体層、第二の基板の順に重なって構成される。

【0033】

本実施例の整合領域 3 1 3 は、第三の導体層 3 0 9 と第四の導体層 3 1 0 が大気を介して重なっている。また、本実施例のアンテナ部 3 0 2 はビバルディアンテナ構造を構成しているため、整合領域 3 1 3 の形状は図 3 (b) で示すような曲線での構成を用い、共振部 3 0 1 からアンテナ部 3 0 2 に向かって伸長する方向に整合領域 3 1 3 の幅を徐々に小さくしている。この構造を用いれば、アンテナ部の上下に基板を有するため、片側のみ基板を有する場合と比較して、電磁波を上下対称に放射させることができる。また、共振器とアンテナ部の整合性を簡便に設計及び達成できる。

10

【0034】

また、これまで説明してきた素子を用い、検体の状態などを算出する演算部などと組合せた図 8 に示す装置を提供することができる。例えば、上記発振素子を発振器として用い、発振器の端部に検体を配置する。検体は導波路から発振される電磁波と相互作用するため、発振された電磁波は何らかの影響をうける。検体に照射された電磁波は反射や透過するため、それを検出器で検出する。上記受信素子を検出器として用いることもできる。その後、パソコン等の演算部で、検出した信号から検体の情報(状態など)を算出する。具体的には、薬の状態などを検査する産業用検査装置などの応用が想定される。以上の様にして、発振素子から出射した電磁波が照射された検体からの電磁波を受信素子で検出する測定装置を構成することができる。ここでは、発振素子と受信素子のうちの少なくとも一方が、本発明の発振素子または受信素子であり、検体と相互作用した電磁波を検出し、検出した信号から検体の情報を取得する。

20

【0035】

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。

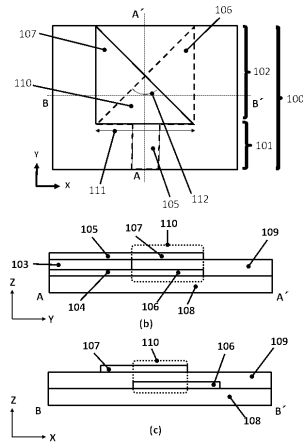
【符号の説明】

【0036】

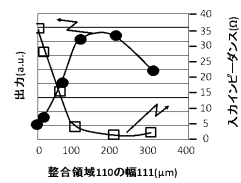
1 0 0 : 発振素子(受信素子)、1 0 1 : 共振部、1 0 2 : アンテナ部、1 0 3 : 活性層(コア層、利得媒質) 1 0 4 : 第一の導体層、1 0 5 : 第二の導体層、1 0 6 : 第三の導体層、1 0 7 : 第四の導体層、1 0 8 : 基板、1 0 9 : 層間絶縁膜(絶縁体)、1 1 0 : 整合領域、1 1 1 : 整合領域の幅、1 1 2 : 整合領域のテーパ角

30

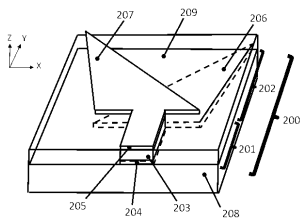
【 図 2 】



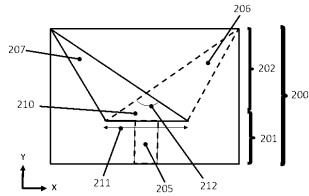
【 図 4 】



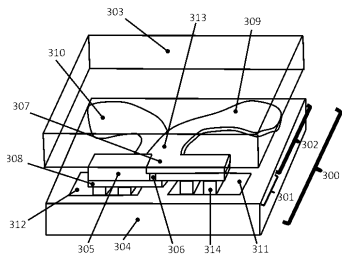
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【図 8】

