

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-120846

(P2017-120846A)

(43) 公開日 平成29年7月6日(2017.7.6)

(51) Int.Cl.		F I			テーマコード (参考)
H O 1 S	5/022	(2006.01)	H O 1 S	5/022	2 K 1 O 2
H O 1 S	5/12	(2006.01)	H O 1 S	5/12	5 F 1 7 3
H O 1 S	5/026	(2006.01)	H O 1 S	5/026	6 1 6
G O 2 F	1/015	(2006.01)	G O 2 F	1/015	5 O 5

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2015-257253 (P2015-257253)	(71) 出願人	000004226
(22) 出願日	平成27年12月28日 (2015.12.28)		日本電信電話株式会社
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(特許庁注：以下のものは登録商標)		(74) 代理人	110001243
1. イーサネット			特許業務法人 谷・阿部特許事務所
		(72) 発明者	田野辺 博正
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日
			本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	金澤 慈
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日
			本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	神田 淳
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日
			本電信電話株式会社内

最終頁に続く

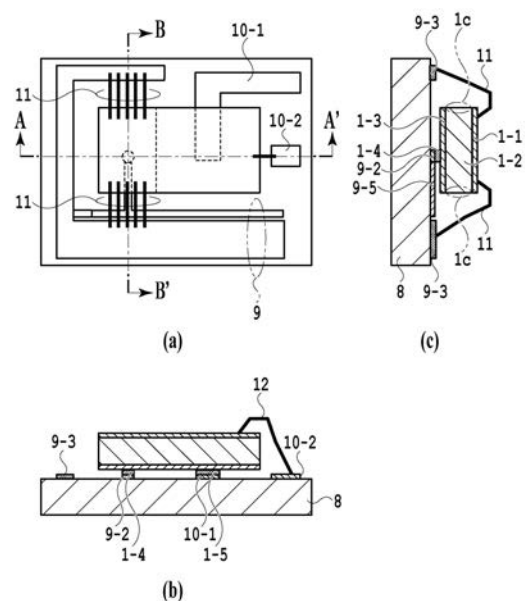
(54) 【発明の名称】 光半導体装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 E A - D F B レーザの高周波反射損失を低減させ、E A 変調器への高周波信号の駆動力を向上させた光半導体装置を提供する。

【解決手段】 E A - D F B レーザは、レーザ発振を行なう D F B 領域とレーザ出力の高周波変調を行う E A 領域とが基板 1 - 2 上にモノリシックに形成され、D F B 領域に設けられた D C 電極 1 - 5 と E A 領域に設けられた高周波電極 1 - 4 と基板の他面に設けられた電極層 1 - 1 とを有し、配線基板 8 は、レーザ発振するための D C 駆動信号用の D C 配線と高周波変調するための高周波信号用の高周波配線 9 とを備え、E A - D F B レーザは配線基板上にフリップチップ搭載され、E A - D F B レーザの電極層と D C グランド 10 - 2 およびグラウンド 9 - 3 とが導体細線 11 により接続されており、E A - D F B レーザの E A 領域に設けられた導体細線の本数が D F B 領域に設けられた導体細線の本数よりも多いことを特徴とする光半導体装置。

【選択図】 図 4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザ発振を行なう D F B 領域とレーザ出力の高周波変調を行う E A 領域とが基板上にモノリシックに形成された E A - D F B レーザであって、前記基板の一面の D F B 領域に設けられた D C 電極と前記基板の一面の E A 領域に設けられた高周波電極と、前記基板の他面に設けられた電極層を有する E A - D F B レーザと、

前記 E A - D F B レーザをレーザ発振するための D C 駆動信号用の D C 配線と高周波変調するための高周波信号用の高周波配線とを有する配線基板とを備え、

前記 E A - D F B レーザの前記一面の前記 D C 電極および前記高周波電極が前記配線基板の D C 配線および高周波配線と電氣的に接続するように前記 E A - D F B レーザがフェースダウンで前記配線基板上にフリップチップ搭載されるとともに、前記 E A - D F B レーザの他面と前記 D C 配線および前記高周波配線とが導体細線により電氣的に接続されており、前記 E A - D F B レーザの他面の前記 E A 領域に設けられた導体細線の本数が前記 D F B 領域に設けられた導体細線の本数よりも多いことを特徴とする光半導体装置。

10

【請求項 2】

前記高周波配線は、フリップチップ搭載された前記 E A - D F B レーザの近傍に位置する領域で、少なくとも 2 本以上に分岐されており、分岐された前記高周波線路が終端抵抗と電氣的に接続され、前記終端抵抗までの線路が持つ特性インピーダンスが前記 E A 領域が持つ特性インピーダンスよりも高く設定されることを特徴とする、請求項 1 に記載の光半導体装置。

20

【請求項 3】

前記分岐された高周波線路において、前記終端抵抗と接続されておらず、かつ前記 E A - D F B レーザが備える前記高周波電極と電氣的に接続されていない前記高周波線路には、分岐点を始点としてその長さ、互いのなす角度がそれぞれ異なる様に配置された、容量性スタブ、誘導性スタブが形成されていることを特徴とする、請求項 2 に記載の光半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は光半導体装置に関し、特に E A - D F B レーザにおいてフェースダウンでフリップチップ実装された際の電氣的な高周波反射損失を低減させ、E A - D F B レーザを構成する E A 変調器への高周波信号の駆動力の向上を図った光半導体装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

E A (Electro-absorption: 電界吸収型) - D F B (Distributed Feedback: 分布帰還型) レーザは、半導体レーザを直接に変調する従来の直接変調半導体レーザ (D M L : Directly Modulated Laser) と異なり、D F B レーザ発振に必要なキャリアを直接に変調すること無く E A 変調器の変調領域層に与える電圧 (電界) を変化させることにより、変調領域層における波長軸上での吸収端の変化で光変調を行うことから、高速、広帯域であり、かつ低チャープ特性を備えており、10 G b p s ~ 100 G b p s イーサネット技術を支える光デバイスとして広く使われている。

40

【0003】

E A - D F B レーザを実際に使用する際は、50 Ω 出力インピーダンスを備えた高周波信号源と E A - D F B レーザを構成する E A 変調器とを互いに電氣的に接続するが、E A 変調器は必ずしも 50 Ω にインピーダンス整合しておらず、E A 変調器そのものが高周波信号源から出力される高周波信号の E A 変調器に対する駆動力を劣化させる主要因を有している事が広く知られている。特に、E A 変調器の変調動作時における特性インピーダンスの変動には特徴があり、E A 変調器を駆動する信号に含まれる低周波成分では E A 変調器に電氣的に並列接続された終端抵抗が信号源から主に見えるが、逆に高周波成分では E A 変調器の電氣的な容量に起因した E A 変調器そのものの低インピーダンス特性が見えて

50

くる。

【0004】

また、実際の使用時においては、EA変調器はEA変調器と共にモノリシック形成されたDFBレーザからの光出力を変調することになるが、EA変調器で変調される光はフォトリソントとなってEA変調器を流れるものと見なすことができる。すなわち、光変調を行っている際の、光吸収時、光透過時においては、EA変調器は電気的にはフォトリソントを変調していることと等価であり、変調領域での高周波電流のインピーダンスが変動していることを意味する。こうした一連のEA変調器のダイナミックな電気的な特性を考慮した電気実装の在り方が検討、開発されてきた。

【0005】

このEA変調器のインピーダンスを整合させる手法として、EA変調器と直列に接続される直列抵抗 (R_{series}) の値最適化、およびEA変調器と並列に接続される終端抵抗 (R_{term}) の値最適化による試みが知られている。図1にインピーダンスのマッチング回路を含めた従来のEA-DFBレーザの等価回路を示す。図2には、図1のEA-DFBレーザにおける反射損失特性グラフを示す。

【0006】

図1に示すように、EA-DFBレーザは、 Z_0 の出力インピーダンスを備えた信号源100と、 Z_0 の特性インピーダンスを備える高周波線路101と、その先に直列抵抗 (R_{series}) 102とを介してEA変調器104とが直列に接続され、さらにEA変調器104に対して終端抵抗103が並列に接続される等価回路構成で示されている。

【0007】

図1に示すEA-DFBレーザにおいては、 $R_{term} = 1.2 (Z_0 - R_{series})$ を満たすように、直列抵抗102、終端抵抗103の値がそれぞれ決定されている。 $Z_0 = 50 \Omega$ において、 $R_{series} = 5 \Omega$ 、 $R_{term} = 72 \Omega$ が選択され、低域においては-30dBの反射損失が得られるとしている(特許文献1参照)。

【0008】

しかしながら、図2に示す反射損失グラフからも明らかなように、10GHzを超えた周波数領域では、反射損失が0dB近くになってしまう。これは信号源100から出力される高周波信号のほとんどすべてが反射で戻ってしまい、EA変調器104を10GHz以上の周波数で駆動するのは困難であることを示している。

【0009】

今後の通信需要を勘案すると、EA-DFBレーザが多用される100Gbps Ethernetでの光通信ネットワーク構築の旺盛な需要もあり、より高い周波数においてもEA変調器を駆動可能とする開発が必須であることは言うまでもない。また、100Gbps、400Gbpsの光通信ネットワーク、なかでもEthernet(登録商標)で使用される光トランシーバの構成においては複数のEA-DFBレーザを一つのパッケージの中に配置する必要性もあり、高密度、高精度にEA-DFBレーザを実装する必要も生じている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開2004-325495号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

上述のように、EA-DFBレーザを構成するEA変調器に直列、並列接続される抵抗器の追加による効果では、比較的低い周波数帯域でEA変調器の駆動が改善できるものの、10GHzを超えた周波数領域では反射損失の低減に限界があり駆動そのものを困難としている。さらに、複数のEA-DFBレーザを一つの小型パッケージ内部に高密度、高精度に実装する際において、複数の抵抗器を追加した電気パッシブ部品の実装方式では、

10

20

30

40

50

電気パッシブ部品の搭載スペースに制限があるため、電気パッシブ部品の搭載そのものが困難となり特性改善に自ずと限界が出る。

【 0 0 1 2 】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであって、その目的は、フェースダウンでフリップチップ実装された際の電気高周波反射損失を低減させ、E A - D F B レーザを構成するE A 変調器への高周波信号の駆動力を向上させた光半導体装置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 3 】

上記の課題を解決するために、一実施形態に記載された発明は、レーザ発振を行なうD F B 領域とレーザ出力の高周波変調を行うE A 領域とが基板上にモノリシックに形成されたE A - D F B レーザであって、前記基板の一面のD F B 領域に設けられたD C 電極と前記基板の一面のE A 領域に設けられた高周波電極と、前記基板の他面に設けられた電極層を有するE A - D F B レーザと、前記E A - D F B レーザをレーザ発振するためのD C 駆動信号用のD C 配線と高周波変調するための高周波信号用の高周波配線とを有する配線基板とを備え、前記E A - D F B レーザの前記一面の前記D C 電極および前記高周波電極が前記配線基板のD C 配線および高周波配線と電気的に接続するように前記E A - D F B レーザがフェースダウンで前記配線基板上にフリップチップ搭載されるとともに、前記E A - D F B レーザの他面と前記D C 配線および前記高周波配線とが導体細線により電気的に接続されており、前記E A - D F B レーザの他面の前記E A 領域に設けられた導体細線の本数が前記D F B 領域に設けられた導体細線の本数よりも多いことを特徴とする光半導体装置。

10

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 4 】

【図 1】特性インピーダンスのマッチング回路を含めた従来のE A - D F B レーザの等価回路を示す図である。

【図 2】図 1 のE A - D F B レーザにおける反射損失特性グラフを示す図である。

【図 3】第 1 の実施形態の光半導体装置の構成を示す図である。

【図 4】第 1 の実施形態の光半導体装置の構成を示す図である。

【図 5】第 1 の実施形態の光半導体装置の等価回路を示す図である。

30

【図 6】第 1 の実施形態の光半導体装置の効果を例証するための測定値を示す図である。

【図 7】第 2 の実施形態の光半導体装置の構成を示す図である。

【図 8】第 2 の実施形態の光半導体装置の構成を示す図である。

【図 9】第 2 の実施形態の光半導体装置の等価回路を示す図である。

【図 1 0】第 2 の実施形態の光半導体装置の効果を例証するための測定値を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 5 】

以下、本発明の実施の形態について、詳細に説明する。本実施の形態では、配線基板の材料を石英ガラス（比誘電率 3 . 5 ）、E A - D F B レーザを構成するI n P / I n G a A s P 系とし、その導電性基板をn 型I n P としているが、これに限定されず、基板材料をポリミッド（比誘電率 4 ）、シリコン（比誘電率 1 1 . 9 ）、あるいはアルミナセラミクス（比誘電率 9 . 8 ）、E A - D F B レーザを短波長で動作可能なG a A s / G a A s 系にも適用可能であり、その他あらゆる材料系に適用できることは言うまでもない。

40

【 0 0 1 6 】

（第 1 の実施形態）

図 3、4 は第 1 の実施形態の光半導体装置の構成を示す図である。図 3（a）はE A - D F B レーザ搭載前の高周波接続線路基板の上面図であり、図 3（b）はE A - D F B レーザの上面図である。図 4（a）はE A - D F B レーザを搭載した高周波接続線路基板の上面図であり、図 4（b）、（c）はそれぞれ図 4（a）のA - A' 断面図、B - B' 断

50

面図である。

【0017】

図3(a)に示すように、レーザ搭載基板は、石英ガラス基板8の上面に、高周波線路9と、DC線路10とが形成されて構成されている。高周波線路9は、グラウンド9-3と高周波信号線路9-1とを備える、いわゆるスロット線路構造に形成されている。高周波線路9は、高周波信号線路9-1の一部の領域で二股に分岐し、一方はEA変調器と電氣的に接続するパッド9-2へと分岐した線路9-5で構成され、もう一方は終端抵抗9-4と電氣的に接続される線路9-6で構成される。終端抵抗9-4はグラウンド9-3に接続される。DC線路10は、DFBレーザを連続光出力でレーザ発振させるための電流注入電極10-1とDCグラウンド10-2とを備えている。

10

EA-DFBレーザ1は、図3(b)および図4(c)に示すように、EA変調器領域1aと、DFBレーザ領域1bとが、グラウンド電極1-1およびEA素子構造体1-3に挟まれた導電性半導体基板となるn型InP基板1-2上にモノリシック形成されている。EA-DFBレーザ1の表面(紙面裏側)にEA電極1-4と、DFB電極1-5とがそれぞれ形成され、裏面(紙面表側)にはグラウンド電極1-1が形成されている。

【0018】

本実施形態の光半導体装置は、図4に示すように、石英ガラス基板8の上面にEA-DFBレーザ1をフェースダウンでフリップチップ搭載し、ボンディングワイヤ11、12が施された構成を備える。ボンディングワイヤ(導体細線)11は、EA-DFBレーザ1のEA変調器領域1aを高周波信号線路9のグラウンド9-3と電氣的に接続する。ボンディングワイヤ12は、EA-DFBレーザ1のDFBレーザ領域1bをDC線路10のDCグラウンド10-2と電氣的に接続する。なお、本構成において、ボンディングワイヤ11とボンディングワイヤ12とは略同じ長さおよび太さを有するものとして説明する。

20

【0019】

EA変調器を駆動する高周波信号は、高周波信号線路9を伝搬し終端抵抗9-4とパッド9-2とにそれぞれ向かう。パッド9-2に向かった高周波信号は電氣的に接続されているEA電極1-4へと入力される。高周波信号に含まれる信号の中で、特にDCに近い低い周波数成分の高周波信号については、導電性半導体基板1-2を貫通する形態で高周波信号が流れ、EA変調器領域1aの上面に位置するグラウンド電極1-1へと流れていく。しかしながら、10GHz以上の高い周波数成分を持つ高周波信号は、表皮効果によって導電性半導体基板1-2を貫通する様態では流れない。結晶成長や半導体製造プロセスによって形成されたEA素子構造体1-3と導電性半導体基板1-2との界面をまず流れ、導電性半導体基板側面1cへと向かう、さらにその側面1cを這い上がり、その後、ボンディングワイヤ11を中継しグラウンド9-3へと向かい、一つの閉回路を形成する。

30

【0020】

また、光源となるDFBレーザは安定な連続発振が必要となる。DFBレーザの連続発振動作のために、DC線路10を基板8の上面にも形成することになる。本実施形態では、DC線路の形成のため、電流注入電極10-1とDCグラウンド10-2が石英基板上に形成されている。DC線路10-1の端部から給電されるDC電流は、電氣的に接続されているDFB電極1-5へと到達する。DC電流は周波数では0Hzであるため、表皮効果は全く現れない。よって、DFB電極1-5へと到達したDC電流は、導電性半導体基板1-2を貫通して流れ、グラウンド電極1-1へと向かい、ボンディングワイヤ12を経由してDCグラウンド10-2へと到達し、一つの閉回路を形成する。

40

【0021】

本実施形態の光半導体装置では、高周波信号を接続するためのボンディングワイヤ11の本数をDC信号を接続するためのボンディングワイヤ12の本数よりも多く構成する。この構成により、高周波反射損失を低減させ、駆動力の向上を図ることができる。ボンディングワイヤ11および12の本数を制限することによる効果について以下に説明する。EA変調器を駆動する高周波信号に含まれる信号で、10GHz以上の高い周波数成分では、表皮効果によって流れる場所が制限されることに注意を払う必要がある。特に、ボン

50

ディングワイヤ 11 の本数が少ない場合、ボンディングワイヤ 11 の全本数により構成される面積が小さくなるので、ボンディングワイヤ 11 のインピーダンスが高くなる。ボンディングワイヤ 11 のインピーダンスが高くなる影響により、必ずしもボンディングワイヤ 11 を 10 GHz 以上の高い周波成分の高周波信号が流れるとは限らない。

【0022】

すなわちボンディングワイヤ 11 の本数が少ない場合、構造的に広い面積を持つ導電性半導体基板 1-2 の界面や側面 1c を 10 GHz 以上の高い周波成分の高周波信号が流れ易くなるケースが起こり得ることを意味しており、その結果としてボンディングワイヤ 12 に到達することが想定される。一方、ボンディングワイヤ 12 は、先に示したように、DFB レーザを安定に連続発振動作させる際に不可欠な DC 電流の回路の一部となっている。このボンディングワイヤ 12 に高周波信号が重畳された場合、DFB レーザのグランド電位の不安定性を招き、DFB レーザの動作が不安定な連続発振動作が困難となる。EA-DFB レーザの光源である DFB レーザの動作が不安定になれば、EA 変調器で変調された光出力も、所望の特性は自ずと得られなくなってしまう。

【0023】

さらに上記効果について本実施形態の光半導体装置の回路構成に基づいて図 3 から 5 を参照して説明する。図 5 は、図 3、4 で示した本実施形態の光半導体装置の等価回路を示す図である。高周波線路 9 は、高周波信号線路 9-1 の一部の領域で二股に分かれ、その一つは終端抵抗 9-4 へと向かう、分岐箇所から終端抵抗までの等価回路が回路 20-2 で表現される。インダクタと抵抗の直列接続で表現されるが、インダクタ成分は分岐点から終端抵抗 9-4 までの線路 9-6 の長さに比例して表われる成分である。

【0024】

回路 20-3 は、分岐箇所からパッド 9-2 に向かう線路 9-5 を表現している。線路 9-5 は、導電性半導体基板 1-2 をグランドとするマイクロストリップ線路構造を備えていることが分かる。本実施形態では、高精度に位置決め可能な一般的なフリップチップ実装技術を用いるため、石英ガラス基板 8 と EA-DFB レーザチップ 1 との間の空隙が 2~5 μm と大変狭い。これにより、容量性が大きく現れることとなり、線路 9-5 は、低インピーダンス特性を備えたマイクロストリップ線路と等しくなっている。

【0025】

回路 20-4 は、パッド 9-2、EA 電極 1-4 がはんだ等で電氣的に接続された箇所を表現している。パッド 9-2、EA 電極 1-4 がはんだ等で電氣的に接続された箇所では、回路 20-3 と同様に導電性半導体基板 1-2 をグランドとした容量性が支配的に現れる。

【0026】

回路 20-5 は、パッド 9-2 および EA 電極 1-4 から p 型 InP クラッド層である EA 素子構造 1-3 までの構成を示している。EA 素子構造 1-3 は、半導体結晶成長、ならびに半導体製造プロセスを経て形成されている。したがって n 型 InP 半導体基板を使用した場合、一般的に結晶成長最表面は p 型となり、EA 素子構造 1-3 は p 型 InP クラッド層と呼ばれる。パッド 9-2、EA 電極 1-4 から p 型 InP クラッド層に高周波信号が流れる際には抵抗が現れる。そして、EA 変調器そのものは電氣的に容量性を示すため回路 20-6 で表現される。

【0027】

ここで、本実施形態では、回路 20-2 で表される高周波信号線路 9-1 の分岐箇所から終端抵抗 9-4 へ向かう部分の持つ特性インピーダンスよりも EA 変調器の持つ特性インピーダンスの方が低くなるように設定される。これにより、EA 変調信号への高周波信号の駆動力を向上させることができる。

【0028】

回路 20-6 では、EA 変調器における光と電気についての相互作用を加味して表現される。DFB レーザから出力された光を EA 変調器が吸収し消光した際、EA 変調器では光-電気変換によって生じるフォトカレントが流れている。このフォトカレントは電流計

10

20

30

40

50

で常に計測可能である。図 5 の等価回路上では常に電圧振幅 (V) を扱うため、フォトルレントを等価回路で表現するには、 $I = R / V$ より、抵抗値で置き換えればよい。そこで、フォトルレント量を等価回路で表現するための抵抗値を、容量と並列に配置した。

【0029】

一方、先に示したように、高周波信号に含まれる 10 GHz 以上の高い周波数成分を持つ高周波信号が EA 素子構造体 1 - 3 を通過しグラウンドに向かう際には、表皮効果によって 2 つの進行方向が見えている。一方は導電性半導体基板の界面を流れ、そして側面を通りボンディングワイヤ 11 を通りグラウンド電極 1 - 1 へと流れるパスである。この電流パスはボンディングワイヤの誘導性を主要因とする回路となるため、等価回路上ではインダクタのみの回路 20 - 7 で表現される。

10

【0030】

そしてもう一方は導電性半導体基板の界面、側面を通りボンディングワイヤ 12 を通り、DC グラウンド 10 - 2 へと流れるパスである。本実施例では DFB レーザ領域の方が EA 変調器領域と比較して長手方向に約 3 倍長いから、ボンディングワイヤの誘導性のみでは回路的には表現されず、容量性を回路上に配置する必要がある。ボンディングワイヤ 12 に向かうパスは一種の高周波線路と同等な扱いが可能であるため、等価回路上ではインダクタ成分と容量性成分からなる回路 20 - 8 で表現される。

【0031】

ここで回路 20 - 7 と回路 20 - 8 のインピーダンスを比較すると、ボンディングワイヤ 1 本当たり一般的に約 320 Ω であることから、それぞれの回路 20 - 7、20 - 8 がボンディングワイヤ 1 本で構成された場合、インピーダンスは周波数と容量の積の逆数に比例することから、容量が並列に接続されている回路 20 - 8 の方が周波数が高いほどインピーダンスが低くなる。よって、高周波信号に含まれる 10 GHz 以上の高い周波数成分は回路 20 - 8 の方を流れてしまい、結果として DC グラウンド 10 - 2 へと流れ、DC グラウンド 10 - 2 の不安定性を発現させる。DC グラウンド 10 - 2 が不安定であると、DFB レーザからの安定した光出力が得られなくなる。

20

【0032】

この現象を抑圧するためには、EA 変調器領域 1a に備えるそれぞれのボンディングワイヤ 11 と、DFB レーザ領域 1b に備えるそれぞれのボンディングワイヤ 12 との本数差がきわめて有効となる。ボンディングワイヤは誘導性であるため、複数のボンディングワイヤを備えることで、インピーダンスは本数分の 1 に低下するためである。本実施形態では、EA 変調器領域に備えるボンディングワイヤの本数を、DFB レーザ領域に備えるボンディングワイヤの本数をよりも多く構成することにより、EA - DFB レーザの導電性半導体基板裏面上に備えられた電極と高周波線路を構成するグラウンドとの導体細線接続法、および高周波線路の形状の最適化が図れ、フェースダウンでフリップチップ実装された際の電気高周波反射損失を低減させ、EA - DFB レーザを構成する EA 変調器への高周波信号の駆動力の向上が得られる光半導体装置が得られる。

30

【実施例 1】

【0033】

第 1 の実施形態の光半導体装置の効果を例証するために、第 1 の実施形態の光半導体装置の構成におけるボンディングワイヤ 11 の本数を変えたものを実施例 1 と比較例 1 とし、各種の測定を行なった。ボンディングワイヤ 11 の本数を 10 本とし、ボンディングワイヤ 12 の本数を 1 本としたものを実施例 1 とし、ボンディングワイヤ 11 およびボンディングワイヤ 12 の本数をそれぞれ 1 本としたものを比較例 1 とし、それぞれについて、反射損失、E/O レスポンス特性、DC グラウンドと接続されているボンディングワイヤ 12 に現れる高周波信号と入力した高周波信号の電圧対数比を測定した。

40

【0034】

図 6 は、第 1 の実施形態の光半導体装置の効果を例証するための測定値を示す図である。図 6 (a) は反射損失を示し、図 6 (b) は E/O レスポンス特性を示し、図 6 (c) は DC グラウンドと接続されているボンディングワイヤ 12 に現れる高周波信号と入力した

50

高周波信号の電圧対数比を示している。図6において、それぞれ実線は実施例1について測定された値を示し、破線は比較例1について測定された値を示している。

【0035】

なお、本実施例における各種構造の主な数値は以下のとおりである。高周波線路の信号線路幅 $30\mu\text{m}$ 、GNDまでのギャップ $20\mu\text{m}$ 、導体厚み $1\mu\text{m}$ 、石英ガラス基板とEA-DFBレーザの間の空隙 $2\mu\text{m}$ 、n型InP基板厚み $120\mu\text{m}$ 、EA変調器のパッド直径 $80\mu\text{m}$ 、EA変調器領域の長さ $150\mu\text{m}$ 、DFBレーザ領域の長さ $300\mu\text{m}$ 、EA-DFBレーザのトータル長さ $450\mu\text{m}$ としている。レーザ発信波長 $1.3\mu\text{m}$ のとき、EA変調器で光子が消光され 100% フォトカレントに変換されたと仮定すると、回路20-6に含まれる抵抗値は約 120Ω と得られる。また、他の回路定数はEA変調器の構造、および実測から以下のように求められる。パッド容量20-4は 50fF 、p型InPクラッドの抵抗は 3Ω 、EA変調器の容量20-6は 150fF 。ただし、反射損失の抑圧のため、回路20-2に含まれる終端抵抗の値は 120Ω としている。なお、石英ガラス基板8、EA-DFBレーザ1、そしてボンディングワイヤ11、12は3次元構造を備えているため、等価回路で記述困難な容量性、インダクタ性の成分が複雑に発生することは言うまでもない。そこで、こうした記述困難な箇所については3次元電磁界解析を用いて数値計算を行っている。

10

【0036】

いずれのグラフを見ても明らかなように、ワイヤ本数にきわめて敏感に各特性が変動している。これはすなわち、導電性半導体基板上にモノリシック形成されたEA-DFBレーザをフリップチップ実装する際は、ボンディングワイヤの最適本数の配置が特性改善にきわめて有効であることを示している。

20

【0037】

(第2の実施形態)

次に第2の実施形態について説明する。第2の実施形態は、第1の実施形態の光半導体装置の高周波信号線路9-1の分岐箇所から2本のスタブを形成した構成である。図7、8は本実施形態の光半導体装置の構成を示す図である。図7(a)はEA-DFBレーザ搭載前の高周波接続線路基板の上面図であり、図7(b)はEA-DFBレーザの上面図である。図8(a)はEA-DFBレーザを搭載した高周波接続線路基板の上面図であり、図8(b)、(c)はそれぞれ図8(a)のA-A'断面図、B-B'断面図である。

30

【0038】

本実施形態においても、第1の実施形態で示したように、従来のフリップチップ実装技術を用いてEA-DFBレーザ1を高精度に石英ガラス基板8にはんだ等で電氣的に接続しながら搭載する際、半田厚みを薄くしてEA-DFBレーザ1の表面と石英ガラス基板8の表面との間に生じる空隙を $2\sim 5\mu\text{m}$ まで薄くする必要がある。

【0039】

高周波信号線路9-1の分岐箇所からパッド9-2に向かう線路9-5については、線路9-6に着目すると、導電性半導体基板をグランドとするマイクロストリップ線路構造を備えていることを先の実施例でも示した。線路9-5の幅を $80\mu\text{m}$ 、線路の金属厚みを $1\mu\text{m}$ 、線路9-6に隣接する空隙を $2\mu\text{m}$ とした構造では特性インピーダンスは約 10Ω 未満の約 8.5Ω と極めて低い線路インピーダンスを持ち、高周波線路の特性インピーダンスである 50Ω に全く整合していない。よってこれが、反射損失の低減においては、一定の限界をもたらしている。本実施形態の構成では、同一石英ガラス基板8上に誘導性、容量性を調整可能とするスタブ9-7を分岐箇所から電氣的に接続し、高い誘導性を備える低インピーダンス線路9-5への補償回路の追加を意図している。本実施形態では、2本のスタブ9-7を幅 $30\mu\text{m}$ 、長さ $60\mu\text{m}$ のスタブと、幅 $30\mu\text{m}$ 、長さ $100\mu\text{m}$ のスタブとして形成し、互いに 30 度の角度を成すように配置している。図9に等価回路を示す。容量性、誘導性の補償回路となるため、回路20-9で表現される。回路20-9で表現されている容量は2本のスタブ9-7それぞれの線路幅に対応し、インダクタンスは2本のスタブ9-7のそれぞれの長さに対応している。

40

50

【 0 0 4 0 】

E A - D F B レーザ 1 における E A 変調器領域 1 a の裏面に備えるボンディングワイヤ 1 1 は、追加したスタブ 9 - 7 と干渉することなく配置させている。本実施形態でも、D F B レーザ領域 1 b に備えたボンディングワイヤ 1 2 の本数より、常にボンディングワイヤ 1 1 の本数を多くさせているので、第 1 の実施形態と同様な効果を本実施形態でも同時に得られている。

【実施例 2】

【 0 0 4 1 】

第 2 の実施形態の光半導体装置の効果を例証するために、第 1 の実施形態の効果を例証したのと同様に、第 2 の実施形態の光半導体装置におけるボンディングワイヤ 1 1 の本数を変化させたものを実施例 2 (1 0 本)、比較例 2 (1 本)として測定を行なった。図 1 0 に、実施例 2 および比較例 2 で得られる反射損失 (a)、E / O レスポンス特性 (b)、D C グランドと接続されているボンディングワイヤ 1 2 に現れる高周波信号と入力した高周波信号の電圧対数比 (c) とをそれぞれ示す。なお、本実施例における各種構造における主な数値や等価回路上での数値についても 2 本のスタブ 9 - 7 以外の主な構造では実施例 1 及び比較例 1 と同一の値としている。

10

【 0 0 4 2 】

なお、本実施例においても、石英ガラス基板 8、E A - D F B レーザ 1、そしてボンディングワイヤ 1 1、1 2 は 3 次元構造を備えているため、等価回路で記述困難な容量性、インダクタ性の成分が複雑に発生することは言うまでもない。そこで、こうした記述困難な箇所については 3 次元電磁界解析を用いて数値計算を行っている。

20

【 0 0 4 3 】

いずれのグラフを見ても明らかなように、線路 9 - 6 での線路 9 - 5 の容量性の向上起因に伴う低インピーダンス化を 2 本のスタブ 2 - 7 が有効に補償し、反射損失の低減に寄与している様子もわかる。すなわち、導電性半導体基板上にモノリシック形成された E A - D F B レーザをフリップチップ実装する際は、ボンディングワイヤの最適本数の配置、ならびに E A 変調器直下に配置される線路の低インピーダンス保障を目的としたスタブの導入も併せて特性改善にきわめて有効であることを示している。

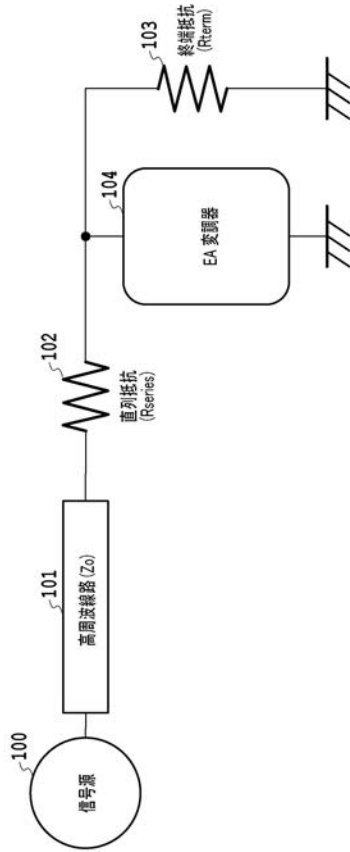
【符号の説明】

【 0 0 4 4 】

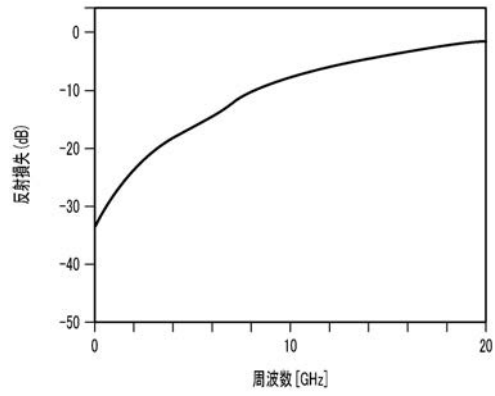
30

- 1 E A - D F B レーザ
- 8 石英ガラス基板
- 9 - 7 スタブ
- 1 1、1 2 ボンディングワイヤ
- 1 0 0 信号源
- 1 0 1 高周波線路
- 1 0 2 直列抵抗 (R s e r i e s)
- 1 0 3 終端抵抗
- 1 0 4 E A 変調器

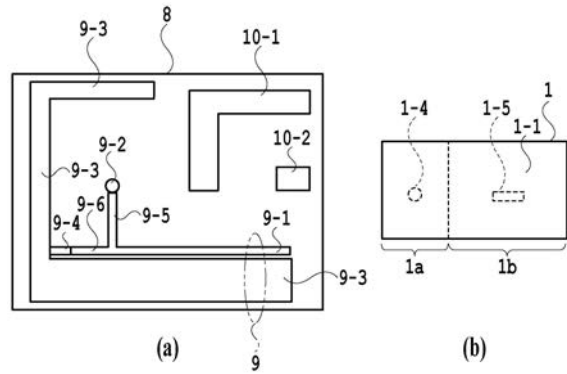
【図 1】



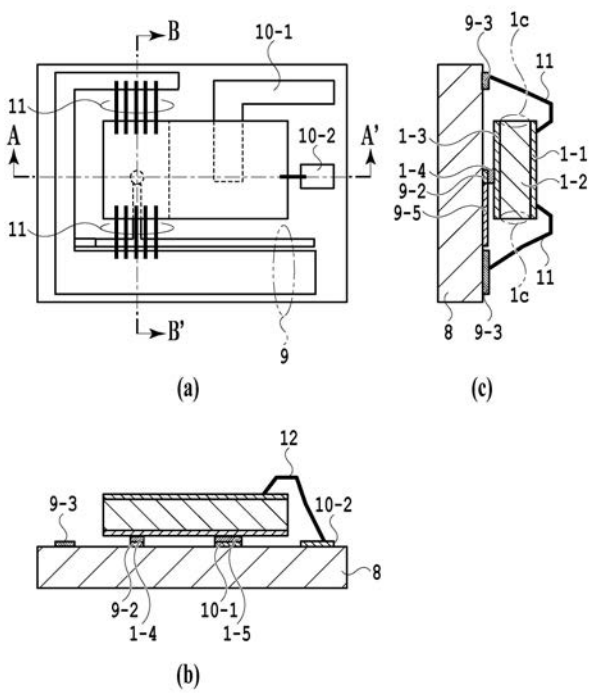
【図 2】



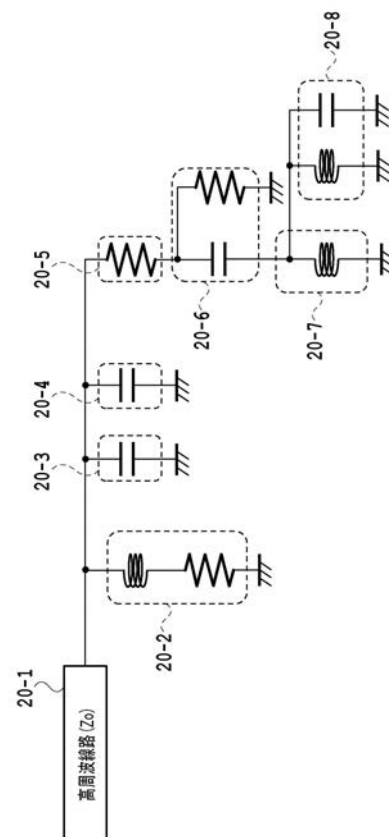
【図 3】



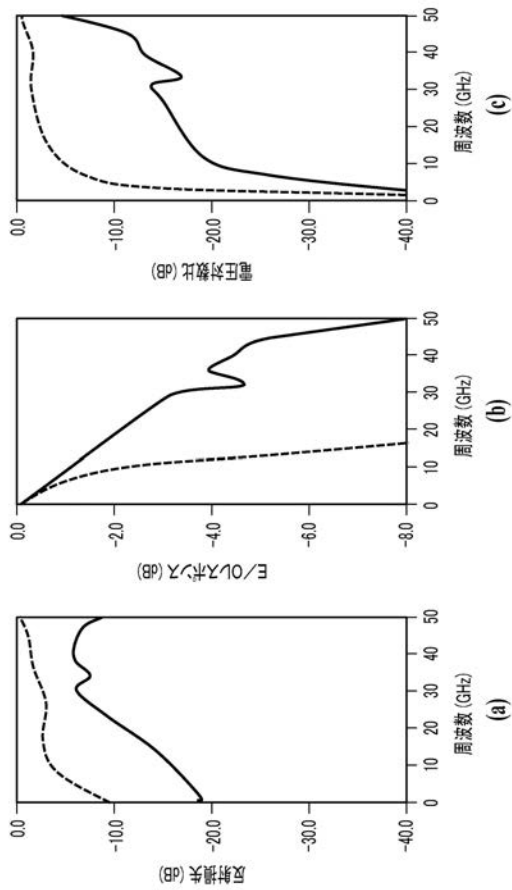
【図 4】



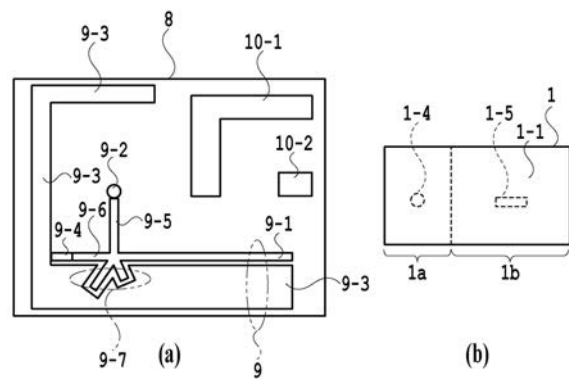
【図 5】



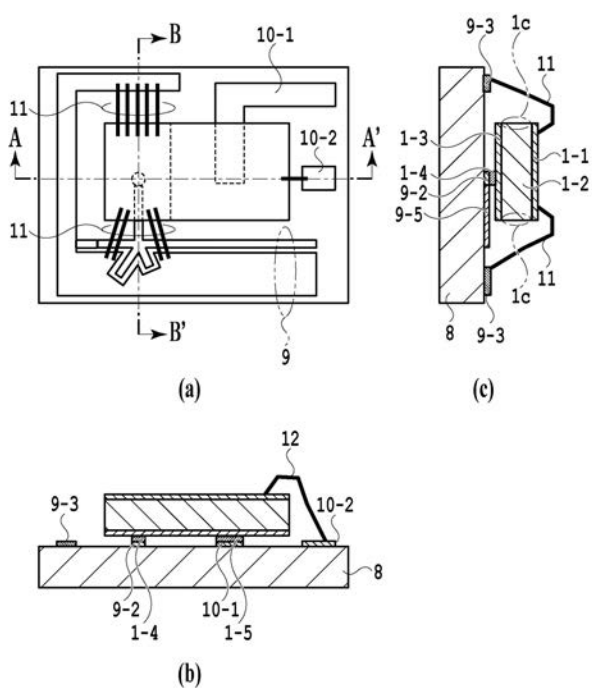
【図 6】



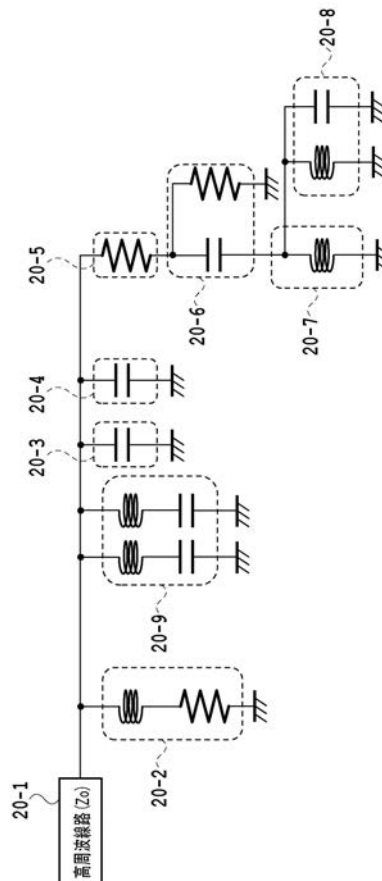
【図 7】



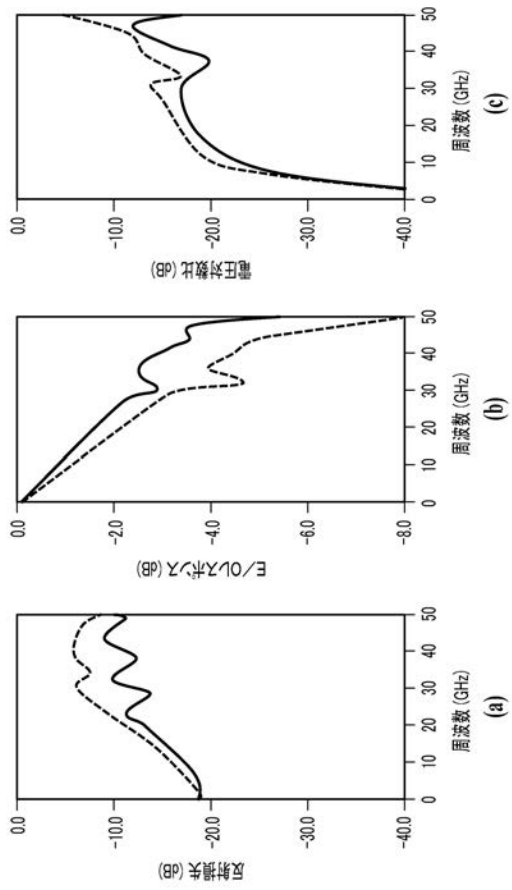
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 綱島 聡

東京都千代田区大手町一丁目 5 番 1 号 日本電信電話株式会社内

F ターム(参考) 2K102 AA20 BA02 BB01 BC04 BD01 CA06 EA09 EA22 EB20 EB29
5F173 MA02 MB03 MC20 MD63 ME47