

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年7月20日(20.07.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/122610 A1

- (51) 国際特許分類:
H03F 3/08 (2006.01) *H04B 10/69* (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/000410
- (22) 国際出願日: 2017年1月10日(10.01.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-006180 2016年1月15日(15.01.2016) JP
- (71) 出願人: 国立研究開発法人情報通信研究機構
(NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATION AND
COMMUNICATIONS TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒
1848795 東京都小金井市貫井北町4-2-1
Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 梅沢 俊匡(UMEZAWA Toshimasa); 〒
1848795 東京都小金井市貫井北町4-2-1
国立研究開発法人情報通信研究機構内 Tokyo
(JP). 赤羽 浩一(AKAHANE Kouichi); 〒1848795 東
京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開
発法人情報通信研究機構内 Tokyo (JP). 松本 敦
(MATSUMOTO Atsushi); 〒1848795 東京都小金井
市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報

通信研究機構内 Tokyo (JP). 菅野 敦史(KANNO
Atsushi); 〒1848795 東京都小金井市貫井北町4-
2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内
Tokyo (JP). 山本 直克(YAMAMOTO Naokatsu); 〒
1848795 東京都小金井市貫井北町4-2-1
国立研究開発法人情報通信研究機構内 Tokyo
(JP). 川西 哲也(KAWANISHI Tetsuya); 〒1848795
東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究
開発法人情報通信研究機構内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 安彦 元(ABIKO Gen); 〒1050001 東京都
港区虎ノ門1-1-2 3 ウンピン虎ノ門ビル7
階 Tokyo (JP).

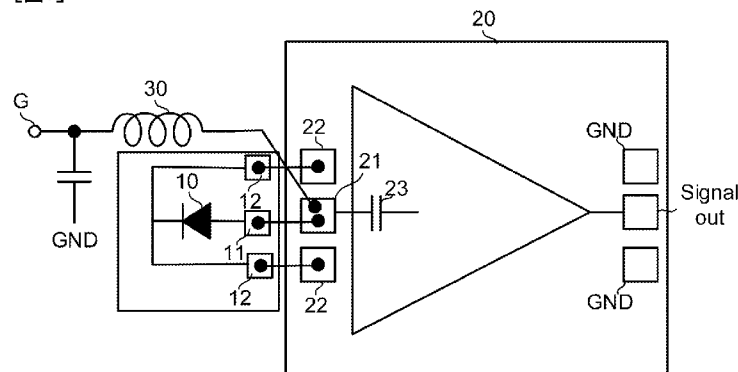
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG,
ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL,
IN, IR, IS, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC,
LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,
MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG,
PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: PHOTOELECTRIC CONVERTER

(54) 発明の名称: 光電変換器

[図1]



(57) Abstract: This photoelectric converter converts an optical signal into an electric signal and amplifies the electric signal, and is provided with: a photoelectric conversion element which converts the optical signal into an electric signal and outputs the electric signal from an output end; a high-frequency amplifier that amplifies the electric signal and that has an input end to which the electric signal outputted from the output end is inputted and has a direct-current breaking capacitor which is disposed at a subsequent stage to the input end and connected to the input end in series; and an inductance element connected to the direct-current breaking capacitor or in parallel and disposed between the input end and a bias power supply which applies bias voltage or bias current to the photoelectric conversion element.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2017/122610 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

光信号を電気信号に変換して増幅する光電変換器であって、前記光信号を電気信号に変換して出力端から出力する光電変換素子と、前記出力端から出力される電気信号の入力端及び前記入力端の後段に配置され、前記入力端に直列接続された直流遮断用コンデンサを有し、前記電気信号を増幅する高周波増幅器と、前記光電変換素子へバイアス電圧又はバイアス電流を印加するバイアス電源と前記入力端との間に配置され、前記直流遮断用コンデンサに対し並列接続されたインダクタンス素子とを備える

明 細 書

発明の名称：光電変換器

技術分野

[0001] 本発明は、光信号を電気信号に変換して増幅する光電変換器に関し、特に狭帯域型の光電変換器に関する。

背景技術

[0002] 光通信における伝送容量は、年々増加の一途をたどっている。このため今後も、その伝送容量を高めていく必要がある。ここで光通信には、固定型と、無線と光通信を組み合わせた光ファイバー無線型とが存在する。現在の光通信は、大容量伝送が可能な固定型が基幹通信網（バックボーン回線）として利用されているが、今後は、例えば、モバイルバックホール（末端のアクセス回線と中心部の基幹通信網(バックボーン回線)を繋ぐ中継回線）への応用などを想定した場合、光ファイバー無線技術が重要になると考えられる。

[0003] 光ファイバー無線において伝送容量を増やすためには、一般にキャリア周波数を高くすることが有利とされる。これは、中心周波数に対して約20%の幅が周波数帯域幅として得られるためである。つまり、中心周波数が10GHzの場合、周波数帯域幅は約2GHzとなるが、中心周波数が100GHzの場合、周波数帯域幅は約20GHzとなり、周波数帯域幅が広がる。

[0004] 一方、光ファイバー無線技術におけるキー技術に狭帯域型光検出器がある。これは、ある特定の周波数で変調された光信号を高周波の電気信号へ変換を行う光電気変換器である。この光電気変換器（以下、フォトレシーバ）の実用化及び量産化を考えた場合、周波数特性の安定化及び生産の低コスト化は非常に重要なファクターであると考えられる。

[0005] ここで、フォトレシーバは、固定型の光通信において広く一般的に使用されており、主にフォトダイオードと高周波アンプ（トランスインピーダンスアンプ）とで構成される。周波数帯域としてはDC（直流）～30GHz（ギガヘルツ）帯のフォトレシーバが製品化・市販化されている。一方、光フ

ファイバー無線応用などに使用されるマイクロ波・ミリ波帯における高周波アンプを内蔵した狭帯域型フォトレシーバの製品や研究報告例は極めて少なく、周波数特性の安定化及び生産の低コスト化についての報告はほとんど無く、フォトダイオードモジュール単体と狭帯域（パワー）アンプモジュール単体を電気コネクタにより接続する例がほとんどである。

[0006] 例えば、非特許文献1には、フォトダイオードと高周波アンプを外部接続する例が示されている。また、非特許文献2には、一般的に使用されているフォトダイオードと高周波アンプとの接続方法が示されており、内部バイアス駆動によりフォトダイオードを動作させる例と、外部バイアス駆動によりフォトダイオードを動作させる例とが示されている。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献1 : S.Babiel, A.Stohr, A.Kanno and T.Kawanishi, "Radio-over-Fiber Photonic Wireless Bridge in the W-Band", IEEE International conference on Communications 2013, pp. 838-842, Workshop on optical-wireless integrated technology for systems and network 2013

非特許文献2 : 11.3 Gbps Limiting Transimpedance Amplifier With RSSITEX AS Instrument ONET8501T

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 一方、狭帯域型フォトレシーバは、高出力、高出力線形成が重要なファクターとなるため、高周波アンプの変わりに、マイクロ波回路で一般的に使用されるリニアアンプを使用の方が良好な特性が得られやすい。これらのリニアアンプはフォトダイオード接続のための内部バイアス回路は設けられていないため、非特許文献2で提示されるような内部バイアス駆動によりフォトダイオードを動作させる接続方法をとることができない。一方、外部バイアス駆動によりフォトダイオードを動作させる接続方法では、接続が可能と

なるが、接続時に用いるワイヤインダクタスが大きくなる傾向がある。

[0009] このため、動作周波数が10GHz（ギガヘルツ）程度と低い場合、フォトレシーバ全体の周波数特性に問題は生じる可能性は低いが、動作周波数が高くなるに従い（特に30GHz以上）、ワイヤインダクタンスが周波数特性（帯域幅及び平坦性）に影響を与える。したがって、フォトダイオードと高周波アンプとを接続するワイヤは、より高い周波数域で可能な限り短くすることが好ましい。また、リニアアンプの入力部は一般に直流遮断用コンデンサによって直流がカットされており、フォトダイオードからの光電流をモニターすることができない（広帯域型の高周波増幅器は直流から動作可能で、入力部は低インピーダンス設計となっている）これはフォトダイオードと光ファイバー間の光調芯ができないことを意味し、光ファイバーを含む光学系の組み立てを困難にする。

[0010] 以上のように、従来のフォトレシーバには、2つのモジュール（フォトダイオードと高周波アンプ）をコネクタ接続するため高周波損失が生じ、結果として光電気変換効率が低下する（電力損失が高い）という問題がある。また、周波数特性が悪いという問題がある。また、2モジュール（フォトダイオードと高周波アンプ）分の実装スペースが必要となるためフォトレシーバが大型化し、小型送受信実験装置が設計しづらいという問題がある。さらに、2モジュール（フォトダイオードと高周波アンプ）を個別に購入する必要があり、生産が高コスト化するという問題がある。

[0011] 本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、電力損失が低く、周波数特性の良好な光電変換器を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明に係る光電変換器は、光信号を電気信号に変換して増幅する光電変換器であって、前記光信号を電気信号に変換して出力端から出力する光電変換素子と、前記出力端から出力される電気信号の入力端及び前記入力端の後段に配置され、前記入力端に直列接続された直流遮断用コンデンサを有し、前記電気信号を増幅する高周波増幅器と、前記光電変換素子へバイアス電圧

又はバイアス電流を印加するバイアス電源と前記入力端との間に配置され、前記直流遮断用コンデンサに対し並列接続されたインダクタンス素子とを備える。

[0013] 上記の構成によれば、高周波増幅器は、入力端に直列接続された直流遮断用コンデンサを有し、光電変換素子へバイアス電圧又はバイアス電流を印加するバイアス電源と入力端との間に配置され、直流遮断用コンデンサに対し並列接続されたインダクタンス素子とを備えている。このため、外部から供給されるバイアス電圧又はバイアス電流は、高周波増幅器へ流れ込むことなく、光電変換素子へと印加される。また、光電変換素子が発生した高周波信号は、インダクタンス素子により遮断（ブロック）されてバイアス側へ流れ込まず高周波増幅器へと流れ込む。このため、外部バイアス駆動によりフォトダイオードを動作させることができる。また、電力損失が低く、周波数特性が良好となる。

[0014] 本発明に係る光電変換器は、前記光電変換素子の出力端と前記高周波増幅器の入力端とが、フリップチップ実装によるバンプ、ボンディングワイヤ又は貫通電極のいずれかにより接続されている。

[0015] 上記の構成によれば、光電変換素子の出力端と高周波増幅器の入力端とが、フリップチップ実装によるバンプ、ボンディングワイヤ又は貫通電極のいずれかにより接続されている。このため、光電変換素子の出力端及び高周波増幅器の入力端間のインダクタンスを小さくすることができ、効果的に電力損失を低くできる。また、周波数特性も良好となる。また、上記構成とすることで、光電変換器の部品点数及び組み立て工数を削減することができ、その結果、光電変換器（フォトレシーバーモジュール）製作の製造コストを削減することができる。

[0016] 本発明に係る光電変換器は、前記光電変換素子の出力端及び前記高周波増幅器の入力端間のインダクタンスが、500 p H以下である。

[0017] 上記の構成によれば、光電変換素子の出力端及び高周波増幅器の入力端間のインダクタンスが500 p H以下であるため、電力損失がより低く、より

効果的に周波数特性を良好なものとなる。

[0018] 本発明に係る光電変換器の前記高周波増幅器は、30GHz（ギガヘルツ）以上の帯域のうち特定の帯域を増幅する。

[0019] 上記の構成によれば、高周波増幅器は、30GHz（ギガヘルツ）以上の帯域のうち特定の帯域を増幅する。このため、周波数特性が劣化しやすい30GHz（ギガヘルツ）以上の帯域に適用するため、より効果的に周波数特性を改善することができる。

[0020] 本発明に係る光電変換器は、前記コンデンサの静電容量が1pF（ピコファラット）～数百pF（ピコファラット）であり、前記インダクタンス素子のインダクタンスが0.2nH（ナノヘンリー）以上である。

[0021] 上記の構成によれば、コンデンサの静電容量が1pF（ピコファラット）～数百pF（ピコファラット）であり、インダクタンス素子のインダクタンスが0.2nH（ナノヘンリー）以上であるため、バイアスが高周波増幅器側に流れ込むのを効果的に防止でき、また、光電変換素子で発生する高周波信号がバイアス側へ流れ込むのを効果的に遮断することができる。

発明の効果

[0022] 本発明によれば、電力損失が低く、周波数特性の良好な光電変換器を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]実施形態に係る光電変換器の回路図である。

[図2]実施形態に係る光電変換器の接続方法を示す構成図である。

[図3]実施例に係る光電変換器の周波数特性のシミュレーション結果を示す図である。

[図4]実施例に係る光電変換器の伝達特性のシミュレーション結果を示す図である。

[図5]実施例に係る光電変換器の伝達特性の実機及びシミュレーション結果を示す図である。

[図6]比較例に係る光電変換器の回路図である。

[図7]比較例に係る光電変換器の他の回路図である。

発明を実施するための形態

[0024] (実施形態)

図1は、実施形態に係る光電変換器の回路図である。図2は、実施形態に係る光電変換器の接続方法を示す構成図である。以下、図1及び図2を参照して本実施形態に係る光電変換器の構成について説明する。

[0025] 図1に示すように、本実施形態に係る光電変換器（フォトレシーバ）は、光電変換素子10と、高周波増幅器20と、インダクタンス素子30とを備える。光電変換素子10は、例えば、フォトダイオードであり、光信号を電気信号に変換して出力端11から出力する。また、光電変換素子10は、出力端11のほか、接地用端子（GND）12を有する。

[0026] 高周波増幅器20は、例えば、リニアアンプであり、光電変換素子10の出力端11から出力される電気信号を増幅する増幅器である。ここで、高周波増幅器20は、30GHz（ギガヘルツ）以上の帯域のうち特定の帯域を増幅する狭帯域型の増幅器である。

[0027] 高周波増幅器20は、光電変換素子10からの電気信号が入力される入力端21と、接地用端子（GND）22と、入力端21の後段に配置され、入力端21に直列接続された直流遮断用コンデンサ23とを有する。ここで、この実施形態では、直流遮断用コンデンサ23の静電容量が1pF（ピコファラット）～数百pF（ピコファラット）となるよう設計されている。

[0028] インダクタンス素子30は、光電変換素子10へバイアス電圧又はバイアス電流を印加するバイアス電源Gと高周波増幅器20の入力端21との間に配置され、直流遮断用コンデンサ23に対し並列接続されている。ここで、この実施形態では、インダクタンス素子30のインダクタンスが0.2nH（ナノヘンリー）以上となるよう設計されている。

[0029] なお、光電変換素子10の出力端11及び高周波増幅器20の入力端21間のインダクタンスは、500pH以下であることが好ましい。光電変換素子10の出力端11及び高周波増幅器20の入力端21間のインダクタンス

を、500pH以下とすることで、高周波帯域、特に30GHz（ギガヘルツ）以上の高周波帯域の信号を増幅する際の周波数特性が向上する。

[0030] また、図2に示すように、光電変換素子10と高周波増幅器20とは、フリップチップ実装、ワイヤボンディング又は貫通電極のいずれかの方法により接続されている。図2（a）は、光電変換素子10の回路が形成された半導体チップと、高周波増幅器20の回路が形成された半導体チップとをワイヤボンディングにより接続した例を示す図である。図2（a）に示す例では、光電変換素子10の出力端11と高周波増幅器20の入力端21、及び光電変換素子10の接地用端子12と高周波増幅器20の接地用端子22とがボンディングワイヤWで夫々接続されている。また、図2（a）に示す例の場合、インダクタンス素子30はボンディングワイヤWにより実現され、ボンディングワイヤWの長さやループ形状等によりインダクタンスが調整される。

[0031] なお、光電変換素子10の回路が形成された半導体チップと、高周波増幅器20の回路が形成された半導体チップとをスペーサを介して積層したのち、光電変換素子10の出力端11と高周波増幅器20の入力端21、及び光電変換素子10の接地用端子12と高周波増幅器20の接地用端子22とがボンディングワイヤWで夫々接続するようにしてもよい。

[0032] 図2（b）は、光電変換素子10の回路が形成された半導体チップと、高周波増幅器20の回路が形成された半導体チップとをフリップチップ接続により接続した例を示す図である。図2（b）に示す例では、光電変換素子10の出力端11と高周波増幅器20の入力端21、及び光電変換素子10の接地用端子12と高周波増幅器20の接地用端子22とがバンプBにより夫々接続されている。また、図2（b）に示す例の場合、インダクタンス素子30はバンプBにより実現され、バンプBの形状等によりインダクタンスが調整される。

[0033] 図2（c）は、光電変換素子10の回路が形成された半導体チップと、高周波増幅器20の回路が形成された半導体チップとをSi貫通電極TSVに

より接続した例を示す図である。図2(c)に示す例では、光電変換素子10の出力端11と高周波増幅器20の入力端21、及び光電変換素子10の接地用端子12と高周波増幅器20の接地用端子22とがSi貫通電極TSVにより夫々接続されている。また、図2(c)に示す例の場合、インダクタンス素子30はSi貫通電極TSVにより実現され、Si貫通電極TSVの長さや形状等によりインダクタンスが調整される。

[0034] 図2を参照して説明したように、光電変換素子10と高周波増幅器20とをフリップチップ実装、ワイヤボンディング又は貫通電極のいずれかの方法により接続することで、光電変換素子10の出力端11及び高周波増幅器20の入力端21間のインダクタンスを500pH以下とすることができ、増幅時の周波数特性が向上する。また、図2に示す構成とすることで、光電変換器の部品点数及び組み立て工数を削減することができ、その結果、光電変換器（フォトレシーバーモジュール）製作の製造コストを削減することができる。

実施例

[0035] 図3は、図1を参照して説明した光電変換器の周波数特性のシミュレーション結果である。図4は、図1を参照して説明した光電変換器の光電変換素子10と高周波増幅器20との間の伝達特性のシミュレーション結果である。図5は、図1を参照して説明した実施形態に係る光電変換器の伝達特性の実機及びシミュレーション結果である。

[0036] 図3は、高周波増幅器20として90～100GHzの周波数帯域の実測値（Sパラメータ）を使用し、この高周波増幅器20に光電変換素子10としてフォトダイオードを接続したシミュレーション結果である。図3の横軸は周波数（GHz）、図3の縦軸は光電変換素子10及び高周波増幅器20の利得（dB）である。

[0037] 図3には、光電変換素子10と高周波増幅器20との接続インダクタンスが20pH（ピコヘンリー）、50pH、100pH、200pHの場合についてシミュレーションした結果を示した。図3に示すシミュレーション結

果からは、光電変換素子 10 と高周波増幅器 20 との接続インダクタンスが低い 20 p H 及び 50 p H の場合に、周波数の変化に対する利得の変化が小さくフラットで良好な周波数特性が得られ、光電変換素子 10 と高周波増幅器 20 との接続インダクタンスが高い 100 p H 及び 200 p H の場合に、周波数の変化に対する利得の変化が大きく周波数特性が劣化（具体的には、高周波側で利得が低下）することがわかる。すなわち、図 3 のシミュレーション結果からは、光電変換素子 10 と高周波増幅器 20 との接続インダクタンスは、低いことが好ましいことがわかる。

[0038] なお、図 3 のシミュレーション結果では、光電変換素子 10 と高周波増幅器 20 との接続インダクタンスが低い 20 p H 及び 50 p H の場合に、周波数の変化に対する利得の変化が小さくフラットで良好な周波数特性が得られているが、光電変換素子 10 の出力端 11 及び高周波増幅器 20 の入力端 21 間のインダクタンスの最適値は、光電変換素子 10 側のデバイスパラメータや周波数帯によって変わってくることから、500 p H 以下であることが好ましい。

[0039] 図 4 には、インダクタンス素子 30 のインダクタンスが 0.1 n H（ナノヘンリー）、0.2 n H、0.5 n H、1 n H の場合についてシミュレーションした結果を示した。なお、図 3 のシミュレーション結果は、図 1 における高周波増幅器 20 の入力端 21 及びバイアス電源 G 間の周波数特性を示したものである。ここで、図 4 の横軸は周波数（G H z）、図 4 の縦軸は伝達損失（d B）である。

[0040] 図 4 に示すシミュレーション結果からは、インダクタンス素子 30 のインダクタンスが小さいほど伝達損失が大きく、インダクタンス素子 30 のインダクタンスが 0.2 n H の場合に伝達損失が急激に小さくなることがわかる。特に、30 G H z 以上の周波数帯では、インダクタンス素子 30 のインダクタンスが 0.1 n H の場合では、伝達損失が -4.5 d b であるのに対し、インダクタンス素子 30 のインダクタンスが 0.2 n H の場合では、伝達損失が -1.5 d b と急激に改善されていることがわかる。このことから、

周波数が30GHz以上の帯域での伝達損失を抑制するためには、インダクタンス素子30のインダクタンスが0.2nH以上であることが好ましいことがわかる。また、図4の結果からは、周波数が30GHz以上の帯域では、インダクタンス素子30のインダクタンスが1nHの場合に伝達損失が略無くなる（略ゼロ）となることがわかる。このことから、インダクタンス素子30のインダクタンスは、1nH以上であることがより好ましいことがわかる。

[0041] 図5には、図1を参照して説明した実施形態に係る光電変換器の実機での伝達特性及びシミュレーションでの伝達特性の結果を示した。ここで、図5の横軸は周波数（GHz）、図5の縦軸は光電変換素子10及び高周波増幅器20の利得（dB）である。図5に示す光電変換器の実機では、光電変換素子10と高周波増幅器20とをワイヤボンディングにより接続し、その接続インダクタンスが50pH（ピコヘンリー）となるように調整した。

[0042] 図5に示すように、実機においても周波数の変化に対する利得の変化が小さくフラットであり、極めて良好な周波数特性が得られている。特に、W帯（75～110GHz帯）は、光電変換素子10（フォトダイオード）と高周波増幅器20（アンプ）間を接続するボンディングワイヤのインダクタンス（L）が大きい場合、周波数特性の劣化が著しいことが、図3のシミュレーション結果から確認できている。

[0043] しかし、図5に示す実機での実験例では、その影響は軽微に留まり、実機での実験結果とシミュレーションでの結果は良く一致していることが確認できる。これは本実装方法の大きな効果であると考えられる。また、図2に示すような光電変換素子10の回路が形成された半導体チップと、高周波増幅器20の回路が形成された半導体チップとフリップチップ実装、ワイヤボンディング又は貫通電極等の方法により接続するハイブリッド集積では、光電変換素子10（フォトダイオード）のモジュール単体と、高周波増幅器20（アンプ）のモジュール単体とを接続する場合に比べ、接続損失を低く抑えることができる。このため、結果として、光電気変換を高効率に行うことが

可能であり、さらに光電変換器（フォトレシーバ）の製造コスト削減にも寄与する。

[0044] 図6及び図7は、比較例に係る光電変換器の回路図である。図6及び図7は、一般的に使用されている光電変換素子（フォトダイオード）と高周波増幅器（アンプ）との接続を示した回路図である。図6及び図7は、光電変換素子（フォトダイオード）とトランスインピーダンスアンプ（TIA）とを接続した回路図である。

[0045] 図6は、内部バイアス駆動を行う場合の回路図であり、トランスインピーダンスアンプ（TIA）が光電変換素子（フォトダイオード）との接続用に設計されているため、光電変換素子（フォトダイオード）のGSG電極をトランスインピーダンスアンプ（TIA）に接続することで、光電変換素子からの電流（光電流）をモニター（計測）することが可能である。図6では、トランスインピーダンスアンプ（TIA）から内部バイアス駆動で光電変換素子（フォトダイオード）を動作させているおり、図6に示す比較例の場合、光電変換素子（フォトダイオード）からの光電流をRSSIによりモニター（計測）することができる。図7は、外部バイアス駆動を行う場合の回路図であり、APDBiasに電流計及び電源バイアスを加えた動作を行う。

[0046] 一方、本実施形態の光電変換器である狭帯域型フォトレシーバは、高出力、高出力線形成が重要なファクターとなるため、トランスインピーダンスアンプの変わりにマイクロ波回路で一般的に使用されるリニアアンプを使用している。これらのリニアアンプでは光電変換素子（フォトダイオード）接続のための内部バイアス回路は設けられていないため、図6に示したような内部バイアス駆動を行うことはできない。

[0047] このため、図7に示した外部バイアス駆動による接続を行う必要があるが、この場合、光電変換素子（フォトダイオード）と高周波増幅器（リニアアンプ）とを接続する際に用いるワイヤ（配線）が長くなるためインダクタが大きくなる傾向をもつ。動作周波数が10GHz（ギガヘルツ）程度と低い場合には、光電変換器（フォトレシーバ）全体の周波数特性に問題は生じ

る可能性は低い。

[0048] しかしながら、高周波(特に30GHz以上の周波数帯)になるに従い、光電変換素子(フォトダイオード)と高周波増幅器(リニアアンプ)とを接続するワイヤ(配線)のインダクタンスが周波数特性(帯域幅及び平坦性)に影響を与える。従って、光電変換素子(フォトダイオード)と高周波増幅器(リニアアンプ)との接続は可能な限り短いことが好ましいが、従来の接続方法では、光電変換素子(フォトダイオード)と高周波増幅器(リニアアンプ)とを接続するワイヤ(配線)が長くなるためインダクタンスが周波数特性に影響を与えてしまう。

[0049] また、リニアアンプの入力部は一般に容量によって直電流がカットされており、光電変換素子(フォトダイオード)からの光電流をモニター(計測)することができないため、光電変換素子(フォトダイオード)と光ファイバー間の光調芯ができず、光ファイバーを含む光学系の組み立てが困難となる。

[0050] 一方、本実施形態による光電変換器では、光電変換素子10の回路が形成された半導体チップと高周波増幅器20の回路が形成された半導体チップとが、フリップチップ実装、ワイヤボンディング又は貫通電極のいずれかの方法により接続されている。このため、光電変換素子10の出力端11及び高周波増幅器20の入力端21間のインダクタンスを小さく、具体的には、500pH(ピコヘンリー)以下とすることができる。この結果、効果的に電力損失を低減でき、かつ、周波数特性も良好な光電変換器を得ることができる。また、上記構成とすることで、光電変換器の部品点数及び組み立て工数を削減することができ、その結果、光電変換器(フォトレシーバーモジュール)製作の製造コストを削減することができる。

[0051] 以上のように、本実施形態に係る光電変換器は、光信号を電気信号に変換して増幅する光電変換器であって、光信号を電気信号に変換して出力端11から出力する光電変換素子10と、出力端11から出力される電気信号の入力端21及び入力端21の後段に配置され、入力端21に直列接続された直

流遮断用コンデンサ23を有し、電気信号を増幅する高周波増幅器20と、光電変換素子10へバイアス電圧又はバイアス電流を印加するバイアス電源Gと入力端21との間に配置され、直流遮断用コンデンサ23に対し並列接続されたインダクタンス素子30とを備えている。

[0052] このため、本実施形態に係る光電変換器は、外部から供給されるバイアス電圧又はバイアス電流が、直流遮断用コンデンサ23により遮断され、高周波増幅器20へ流れ込むことなく光電変換素子10へと印加される。また、光電変換素子10が発生した電気信号（高周波信号）は、インダクタンス素子により遮断（ブロック）されてバイアス電源G側へ流れ込まず高周波増幅器20へと流れ込む。このため、外部バイアス駆動により光電変換素子10を動作させることができ、電力損失が低く周波数特性が良好な光電変換器を得ることができる。

[0053] また、本実施形態に係る光電変換器は、光電変換素子10の回路が形成された半導体チップと高周波増幅器20の回路が形成された半導体チップとが、フリップチップ実装によるバンプ、ボンディングワイヤ又は貫通電極のいずれかにより接続されている。このため、光電変換素子10の出力端11及び高周波増幅器20の入力端21間のインダクタンスを小さく、具体的には、500pH（ピコヘンリー）以下とすることができる。この結果、効果的に電力損失を低減でき、かつ、周波数特性も良好な光電変換器を得ることができる。また、上記構成とすることで、光電変換器の部品点数及び組み立て工数を削減することができ、その結果、光電変換器（フォトレシーバーモジュール）製作の製造コストを削減することができる。

[0054] また、本実施形態に係る光電変換器の高周波増幅器20は、30GHz（ギガヘルツ）以上の帯域のうち特定の帯域を増幅する狭帯域型の増幅器である。つまり、本実施形態に係る光電変換器は、周波数特性が劣化しやすい30GHz（ギガヘルツ）以上の帯域の増幅に適用するため、効果的に電力損失を低減でき、かつ、周波数特性も良好な光電変換器を得ることができる。

[0055] また、本実施形態に係る光電変換器は、直流遮断用コンデンサ23の静電

容量が1 p F（ピコファラット）～数百 p F（ピコファラット）であり、インダクタンス素子30のインダクタンスが0.2 n H（ナノヘンリー）以上となっている。このため、バイアス電源Gからのバイアスが高周波増幅器20側に流れ込むのを効果的に防止できる。また、光電変換素子10で発生する電気信号（高周波信号）がバイアス電源G側へ流れ込むのを効果的に遮断することができる。

[0056]（その他の実施形態）

なお、本発明は上述した実施形態には限定されない。すなわち、当業者は、本発明の技術的範囲またはその均等の範囲内において、上述した実施形態の構成要素に関し、様々な変更、コンビネーション、サブコンビネーション、並びに代替を行ってもよい。例えば、上記実施形態では、光電変換素子10（フォトダイオード）と高周波増幅器20（アンプ）との接続について記載したが、光電変換素子10（フォトダイオード）について同様の製造方法（接続方法）を適用することが可能である。

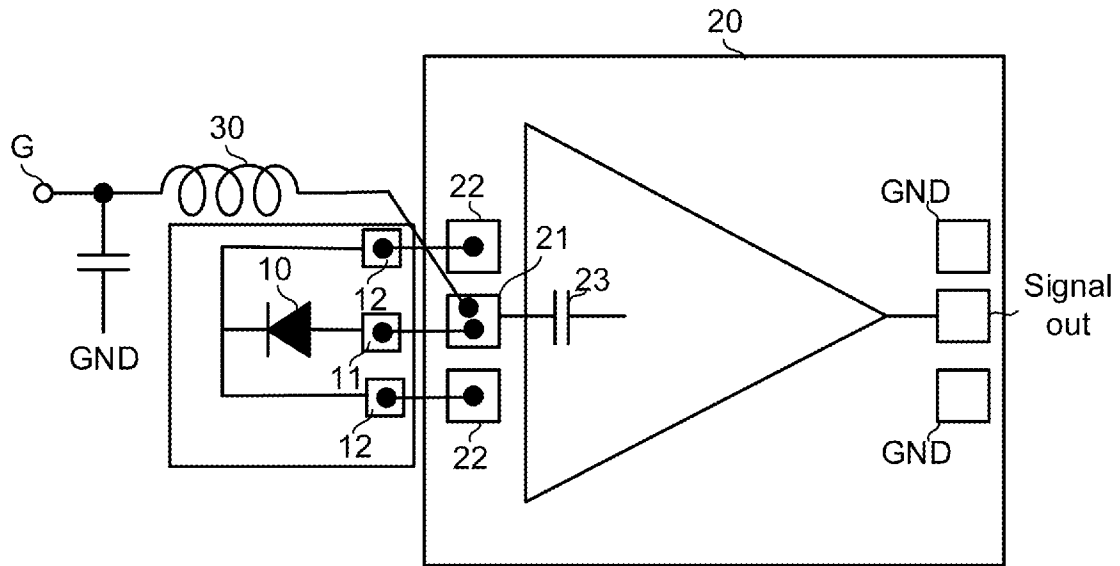
符号の説明

- [0057] 10 光電変換素子
11 出力端
12 接地用端子（GND）
20 高周波増幅器
21 入力端
22 接地用端子（GND）
23 直流遮断用コンデンサ
30 インダクタンス素子
B バンプ
G 電源
W ボンディングワイヤ
TSV Si貫通電極

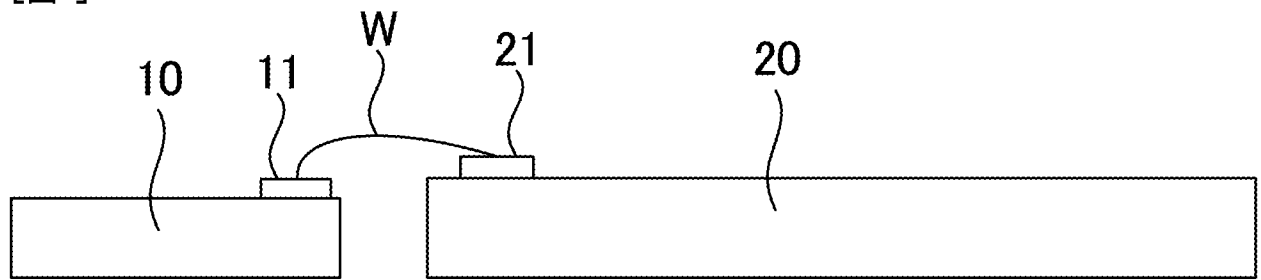
請求の範囲

- [請求項1] 光信号を電気信号に変換して増幅する光電変換器であって、
前記光信号を電気信号に変換して出力端から出力する光電変換素子と、
前記出力端から出力される電気信号の入力端及び前記入力端の後段に配置され、前記入力端に直列接続された直流遮断用コンデンサを有し、前記電気信号を増幅する高周波増幅器と、
前記光電変換素子へバイアス電圧又はバイアス電流を印加するバイアス電源と前記入力端との間に配置され、前記直流遮断用コンデンサに対し並列接続されたインダクタンス素子と
を備えることを特徴とする光電変換器。
- [請求項2] 前記光電変換素子に出力端と前記高周波増幅器の入力端とが、
フリップチップ実装のバンプ、ボンディングワイヤ又は貫通電極のいずれかにより接続されていることを特徴とする請求項1に記載の光電変換器。
- [請求項3] 前記光電変換素子の出力端及び前記高周波増幅器の入力端間のインダクタンスが、500 p H以下であることを特徴とする請求項2に記載の光電変換器。
- [請求項4] 前記高周波増幅器は、30 GHz（ギガヘルツ）以上の帯域のうち特定の帯域を増幅することを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の光電変換器。
- [請求項5] 前記コンデンサの静電容量が1 p F（ピコファラット）～数百 p F（ピコファラット）であり、
前記インダクタンス素子のインダクタンスが0.2 n H（ナノヘンリー）以上である
ことを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の光電変換器。

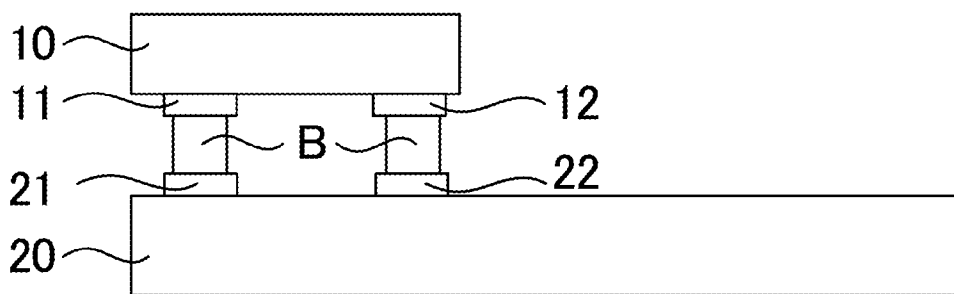
[図1]



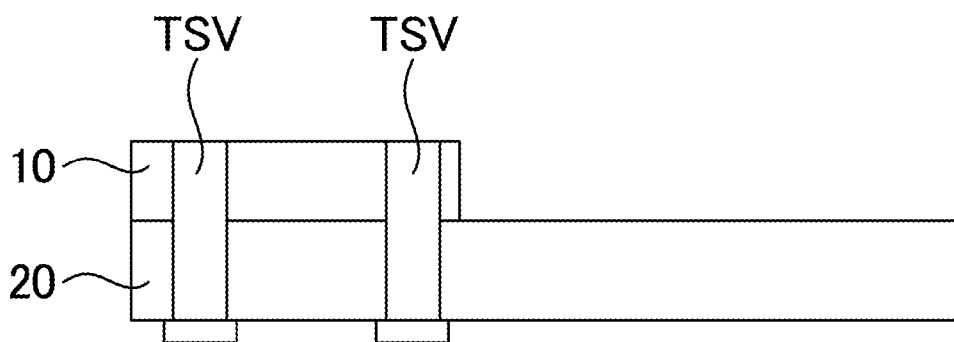
[図2]



(a)

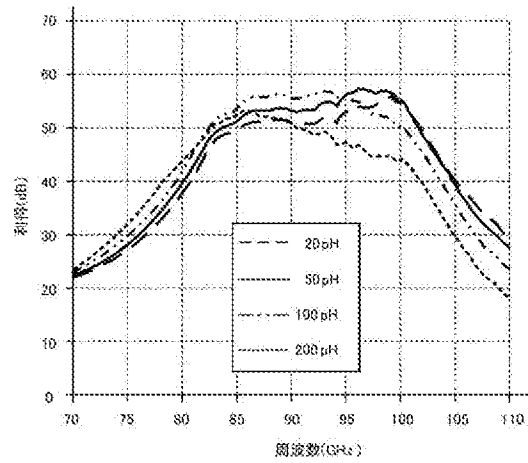


(b)

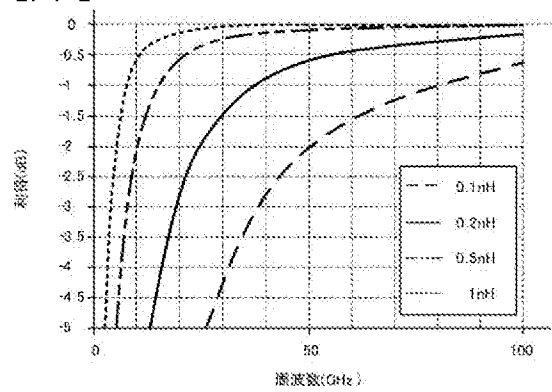


(c)

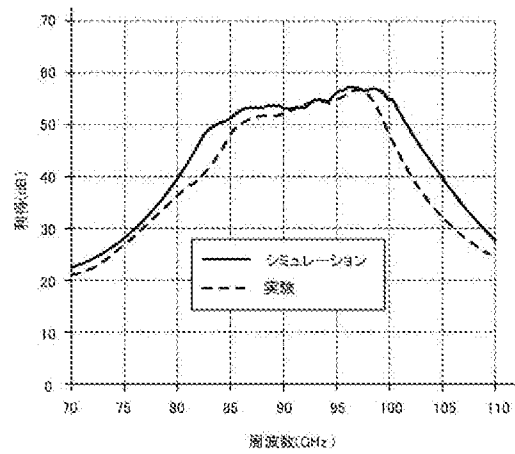
[図3]



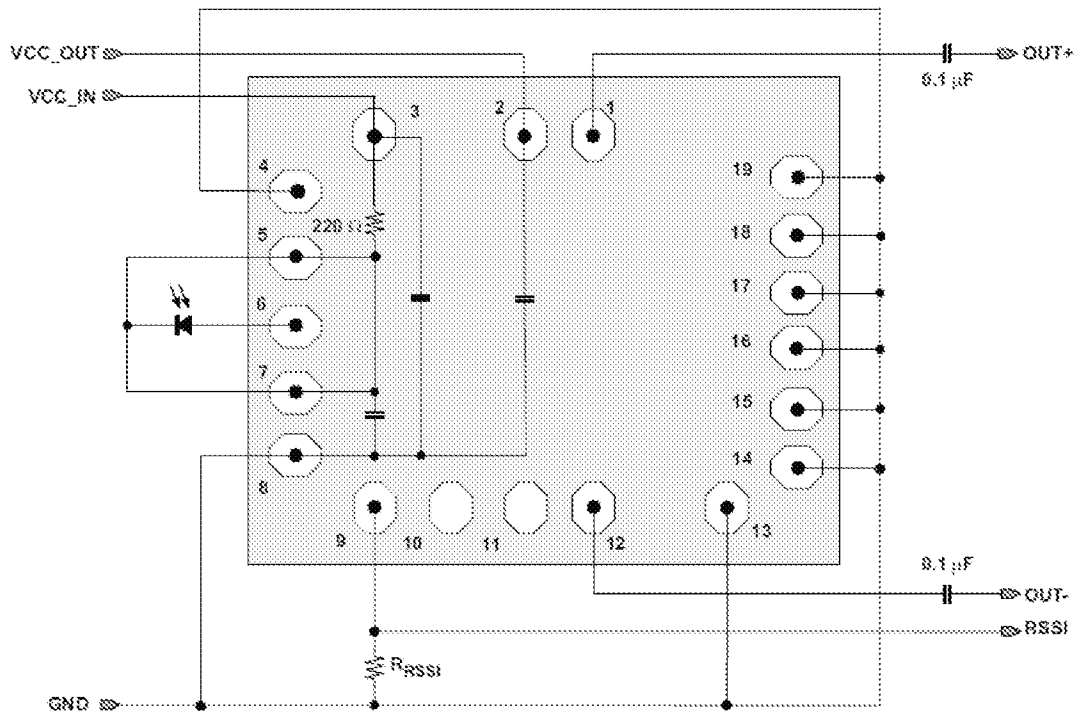
[図4]



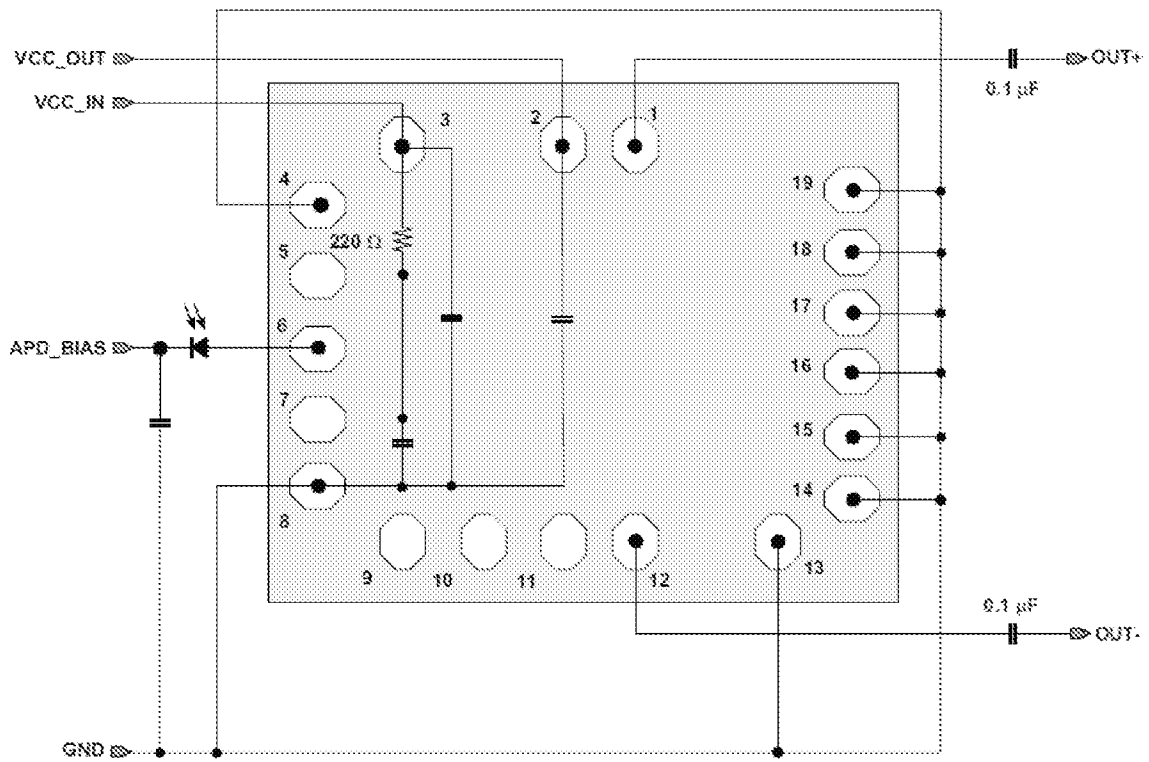
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/000410

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03F3/08(2006.01)i, H04B10/69(2013.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H03F3/08, H04B10/69

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 5-344134 A (NEC Corp.), 24 December 1993 (24.12.1993), paragraph [0018] & US 5367156 A column 4, lines 43 to 68 & US 5371354 A & US 5373152 A	1 2-5
Y	JP 2006-333019 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 07 December 2006 (07.12.2006), paragraphs [0027] to [0033] (Family: none)	1-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15 March 2017 (15.03.17)

Date of mailing of the international search report
28 March 2017 (28.03.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/000410

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2001-127561 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 11 May 2001 (11.05.2001), paragraph [0010] (Family: none)	1-5
Y	JP 2014-212228 A (Mitsubishi Electric Corp.), 13 November 2014 (13.11.2014), paragraphs [0008], [0031] (Family: none)	2-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H03F3/08(2006.01)i, H04B10/69(2013.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H03F3/08, H04B10/69

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 5-344134 A（日本電気株式会社）1993.12.24, 段落 [0018] & US 5367156 A, 第4欄第43-68行 & US 5371354 A & US 5373152 A	1 2-5
Y	JP 2006-333019 A（日本電信電話株式会社）2006.12.07, 段落 [0027] - [0033]（ファミリーなし）	1-5
Y	JP 2001-127561 A（松下電器産業株式会社）2001.05.11, 段落 [0010]（ファミリーなし）	1-5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15.03.2017

国際調査報告の発送日

28.03.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

小林 正明

5W

4241

電話番号 03-3581-1101 内線 3576

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2014-212228 A (三菱電機株式会社) 2014. 11. 13, 段落 [0 0 0 8], [0 0 3 1] (ファミリーなし)	2-5