

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4478680号  
(P4478680)

(45) 発行日 平成22年6月9日(2010.6.9)

(24) 登録日 平成22年3月19日(2010.3.19)

(51) Int. Cl. F I  
**HO 4 B 1/40 (2006.01)** HO 4 B 1/40  
**HO 4 B 10/04 (2006.01)** HO 4 B 9/00 L  
**HO 4 B 10/06 (2006.01)**  
**HO 4 B 10/142 (2006.01)**  
**HO 4 B 10/152 (2006.01)**

請求項の数 28 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2006-520285 (P2006-520285)  
(86) (22) 出願日 平成16年7月13日(2004.7.13)  
(65) 公表番号 特表2007-532021 (P2007-532021A)  
(43) 公表日 平成19年11月8日(2007.11.8)  
(86) 国際出願番号 PCT/US2004/022498  
(87) 国際公開番号 W02005/008832  
(87) 国際公開日 平成17年1月27日(2005.1.27)  
審査請求日 平成19年6月14日(2007.6.14)  
(31) 優先権主張番号 60/488,748  
(32) 優先日 平成15年7月14日(2003.7.14)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 506013852  
フォトニックシステムズ、 インコーポレ  
イテッド  
アメリカ合衆国 マサチューセッツ O 1  
8 2 1, ビレリカ, ミドルセックス  
ターンパイク 9 0 0, ビルディング  
ナンバー 5  
(74) 代理人 100078282  
弁理士 山本 秀策  
(74) 代理人 100062409  
弁理士 安村 高明  
(74) 代理人 100113413  
弁理士 森下 夏樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 送受信兼用信号インターフェース

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

R F 伝送信号を受信する R F 入力ポートに結合された一端と、 R F 受信信号を受信し、  
該 R F 伝送信号を送信する R F 送受信兼用ポートに結合された他端とを有し、第 1 の進行  
波を伝播する第 1 の導波路と、

該受信された R F 受信信号を移す出力ポートに結合された一端と、レーザの出力部に結  
合された他端とを有し、第 2 の進行波を伝播する第 2 の導波路と、

該第 1 の導波路と該第 2 の導波路とを有する非可逆結合器と  
を備えた送受信兼用信号インターフェースであって、

該非可逆結合器は、光学変調器であり、該非可逆結合器は、該第 1 の導波路からの電磁  
場が、該第 1 の導波路および該第 2 の導波路の長さに沿って連続した態様で該第 2 の導波  
路に結合されるように、該第 1 の導波路を該第 2 の導波路と近接するように位置付け、

該 R F 送受信兼用ポートからの該 R F 受信信号は、実質的に非可逆的に該第 1 の導波路  
から該第 2 の導波路へと結合し、該出力ポートを通過し、該 R F 入力ポートからの該 R F  
伝送信号は、該第 1 の導波路を通過し該 R F 送受信兼用ポートに移る、信号インターフェ  
ース。

【請求項 2】

前記 R F 入力ポートからの実質的に全ての前記 R F 伝送信号が、前記第 1 の導波路を通  
過して前記 R F 送受信兼用ポートに移る、請求項 1 に記載の信号インターフェース。

【請求項 3】

10

20

前記 R F 送受信兼用ポートからの実質的に全ての前記 R F 受信信号が、実質的に非可逆的に前記第 1 の導波路から前記第 2 の導波路へと結合する、請求項 1 または 2 に記載の信号インターフェース。

【請求項 4】

前記第 1 の導波路、前記第 2 の導波路および前記非可逆結合器が、電気光学変調器を形成する、請求項 1 または 2 に記載の信号インターフェース。

【請求項 5】

前記非可逆結合器が、前記 R F 受信信号と前記 R F 伝送信号とのうちの少なくとも一方を、前記第 1 の進行波と前記第 2 の進行波とのうちの少なくとも一方に速度整合する電極構造体を備える、請求項 1 に記載の信号インターフェース。

10

【請求項 6】

前記 R F 送受信兼用ポートが、全二重動作で、前記 R F 受信信号を受信し、前記 R F 伝送信号を移す、請求項 1 に記載の信号インターフェース。

【請求項 7】

前記 R F 送受信兼用ポートが、半二重動作で、前記 R F 受信信号を受信し、前記 R F 伝送信号を移す、請求項 1 に記載の信号インターフェース。

【請求項 8】

光伝送信号を受信する光入力部と、前記 R F 入力ポートに接続された電気出力部とを有する光検出器をさらに備え、該光検出器は、該電力出力部において該受信された光伝送信号を前記 R F 伝送信号に変換する、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の信号インターフェース。

20

【請求項 9】

前記 R F 送受信兼用ポートに電氣的に接続されたアンテナであって、前記 R F 受信信号を受信し、前記 R F 伝送信号を伝送するアンテナをさらに備える、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の信号インターフェース。

【請求項 10】

前記電気光学変調器は、光ビームを受信する光入力部と、光出力ポートとを有し、該電気光学変調器は、前記 R F 受信信号によって該光出力ポートにおいて変調された光信号を生成するように構成され、前記 R F 伝送信号を前記 R F 送受信兼用ポートへと移動させるように構成される、請求項 4 に記載の信号インターフェース。

30

【請求項 11】

前記光ビームが連続波光ビームを含む、請求項 10 に記載の信号インターフェース。

【請求項 12】

前記光ビームがパルス光ビームを含む、請求項 10 に記載の信号インターフェース。

【請求項 13】

前記電気光学変調器がマッハツェンダ干渉型変調器を含む、請求項 10 ~ 12 のいずれか一項に記載の信号インターフェース。

【請求項 14】

前記電気光学変調器が、前記 R F 受信信号を前記光ビームの光場に速度整合する電極構造体を備える、請求項 10 ~ 13 のいずれか一項に記載の信号インターフェース。

40

【請求項 15】

光伝送信号を受信する光入力部と、前記 R F 入力ポートに接続された電気出力部とを有する光検出器をさらに備え、該光検出器は、該電気出力部において該受信された光伝送信号を前記 R F 伝送信号に変換する、請求項 10 ~ 14 のいずれか一項に記載の信号インターフェース。

【請求項 16】

前記光検出器の出力部に電氣的に接続された入力部と、前記 R F 入力ポートに電氣的に接続された出力部とを有し、前記 R F 伝送信号を電氣的に増幅する増幅器をさらに備える、請求項 15 に記載の信号インターフェース。

【請求項 17】

50

前記 R F 送受信兼用ポートが前記 R F 受信信号を受信し、実質的に同時に前記 R F 伝送信号を移す、請求項 10 ~ 16 のいずれか一項に記載の信号インターフェース。

【請求項 18】

前記送受信兼用ポートに電氣的に接続されたアンテナであって、前記 R F 受信信号を受信し、前記 R F 伝送信号を伝送するアンテナをさらに備える、請求項 10 ~ 17 のいずれか一項に記載の信号インターフェース。

【請求項 19】

受信信号と伝送信号とをインターフェースする方法であって、  
第 1 の導波路を介して第 1 の進行波を伝播し、第 2 の導波路を介して第 2 の進行波を伝播することと、

R F 伝送信号の実質的な部分を該第 2 の導波路に結合せず、該第 1 の導波路を介して該 R F 伝送信号を送受信兼用ポートに伝播することと、

該送受信兼用ポートから該第 1 の導波路に R F 受信信号を伝播することと、

該第 1 の導波路および該第 2 の導波路の長さに沿って連続した態様での該第 1 の導波路から該第 2 の導波路への該 R F 受信信号の結合が起こるように、該第 1 の導波路および該第 2 の導波路を互いに近接して配置することと、

該第 2 の導波路から出力ポートへと該 R F 受信信号を伝播することと

を包含する、方法。

【請求項 20】

前記 R F 受信信号を結合することが、前記第 1 の導波路から前記第 2 の導波路へと実質的に全ての該 R F 受信信号を結合することを包含する、請求項 19 に記載の方法。

【請求項 21】

前記 R F 受信信号がアンテナから受信され、前記 R F 伝送信号は、該アンテナによって伝送され、該アンテナは、前記送受信兼用ポートに電氣的に接続されている、請求項 19 または 20 に記載の方法。

【請求項 22】

前記第 1 の進行波と前記第 2 の進行波とが、前記 R F 受信信号と前記 R F 伝送信号とのうちの少なくとも一方と実質的に速度整合された電磁場を有する、請求項 19 ~ 21 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 23】

前記送受信兼用ポートから R F 受信信号を伝播することと、前記第 1 の導波路を介して R F 伝送信号を送受信兼用ポートへ伝播することとが、実質的に同時に実行される、請求項 19 ~ 22 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 24】

光伝送信号を受信する光入力部と、前記第 1 の導波路の R F 入力ポートに接続された電気出力部とを有する光検出器を用いることによって、光伝送信号を前記 R F 伝送信号へ変換することをさらに包含する、請求項 19 ~ 23 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 25】

R F 送受信兼用ポートにおいて前記 R F 受信信号を受信することと、  
R F 入力ポートにおいて前記 R F 伝送信号を受信することと、  
光ビームを生成することと、  
該 R F 受信信号を用いて該光ビームを変調し、該変調された光ビームを前記出力ポートへと移すことと、

該 R F 伝送信号を該 R F 送受信兼用ポートへと移すことと

をさらに包含する、請求項 19 ~ 23 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 26】

前記 R F 送受信兼用ポートにおいて R F 受信信号を受信することと、前記 R F 伝送信号を該 R F 送受信兼用ポートへと移すこととが、実質的に同時に実行される、請求項 25 に記載の方法。

【請求項 27】

10

20

30

40

50

前記受信されたRF受信信号を前記光ビームの光場に速度整合することをさらに包含する、請求項25または26に記載の方法。

【請求項28】

光伝送信号を受信する光入力部と、前記第1の導波路のRF入力ポートに接続された電気出力部とを有する光検出器を用いることによって、光データ信号源によって生成された光伝送信号から、前記RF伝送信号を生成することをさらに包含する、請求項25～27のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

(関連出願の援用)

本出願は、タイトルが「Bi-directional Antenna Interface and Optical Link with Low Intrinsic Noise Figure」の米国特許出願第60/488,748号(2003年7月14日出願)の優先権を主張する。その出願の開示全体は、本明細書において参考として援用される。

【背景技術】

【0002】

(発明の背景)

本発明は、概して、伝送機能及び受信機能の双方を実行するアンテナ信号インターフェースのような信号インターフェースに関する。アンテナは、電流を運ぶことができる導電構造体である。電波を送受信するのにアンテナを用いることができる。時間変化電流がアンテナに電氣的に接続されたならば、アンテナは電波を放射する。時間変化電磁界がアンテナにより受信されたならば、アンテナは時間変化電流を生じさせる。

20

【0003】

電力を効果的に運ぶのに信号インターフェースが用いられる。例えば、アンテナと、送信及び/または受信電子機器との間で電力を効果的に運ぶのにアンテナ信号インターフェースが用いられる。送信機アンテナインターフェースは、送信機をアンテナに電氣的に接続する伝送線から電力を効果的に運ぶように設計されている。受信機アンテナインターフェースは、受信機に電氣的に接続されている伝送線へアンテナからの電力を効果的に運ぶように設計されている。送受信機アンテナインターフェースは、送信機をアンテナに電氣的に接続する伝送線から電力を効果的に運ぶように設計され、しかも、受信機に電氣的に接続されている伝送線へアンテナからの電力を効果的に運ぶように設計されている送受信兼用のインターフェースである。

30

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0004】

(詳細な説明)

図1Aには、当該技術分野で既知である一般的な送受信兼用の信号インターフェース100を示す。この信号インターフェース100は、伝送信号を受信する入力ポート102と、受信信号を移す出力ポート104とを含む。信号インターフェース100は、信号を送信及び受信する送受信兼用ポート106を含む。

40

【0005】

信号インターフェース100は、送受信兼用ポート106と、通信システム内の送信及び受信電子機器との間で電力を運ぶのに用いられる。既知の信号インターフェースは、送信機を送受信兼用ポート106に電氣的に接続する伝送線から電力を効果的に運び、しかも、受信機に電氣的に接続されている伝送線へ送受信兼用ポート106からの電力を効果的に運ぶように設計されている。既知の信号インターフェースは、高度な送信-受信信号分離を達成するため、受信機を送信機から分離するようにも設計されている。

【0006】

50

図1Bには、フェライトサーキュレータのような電子循環器120を含む既知の送受信兼用の信号インターフェースを示す。この循環器120は、送信機から伝送信号を受信する入力ポート122と、受信信号を受信機へ移す出力ポート124とを含む。循環器120は、信号を送信及び受信する送受信兼用ポート126をも含む。アンテナ128は送受信兼用ポート126に電氣的に接続されている。

【0007】

循環器120は、送信及び受信が時間内に同時に発生できる全2重動作を可能にする。循環器は、当該技術分野で周知である3ポート非可逆電子装置である。循環器の1つのポートへ接続された信号は、それに続くポートへ指向されるが、逆の場合は異なる。動作中、送信機からの伝送信号は循環器120の入力ポート122へ伝播し、アンテナ128へ電氣的に接続された送受信兼用ポート126へ指向される。アンテナ128から送信された信号は送受信兼用ポート126へ伝播し、受信機に接続された出力ポート124へ指向される。

10

【0008】

理論的には、入力ポート122へ伝播する全部の伝送信号は、アンテナ128に接続された送受信兼用ポート126へ指向され、送受信兼用ポート126へ伝播する全部の送信された信号は、受信機に接続された出力ポート124へ指向される。しかし、実際には、入力ポート122へ伝播する伝送信号のごく一部分は、出力ポート124に漏れる。

【0009】

循環器型の送受信兼用電子アンテナインターフェースは、増幅器と共にしばしば用いられている。例えば、伝送信号の振幅を増大させるのに用いられる送信ドライバ増幅器へ循環器120の入力ポート122を接続できる。受信信号を増幅するのに用いられる低雑音増幅器(LNA)へ循環器120の出力ポート124を接続できる。

20

【0010】

多くの分野に対して、循環器120は、送信機と受信機との間で不適切な分離を行う。典型的な送信電力レベルを1.0~10Wとする場合があり、(LNAの大きさ及び帯域幅に依存する)1~10mWに及ぶ入力電力により典型的なLNAを損なうおそれがあるので、受信機-送信機分離は、欠くことができない。従って、受信-送信分離の30dBの最小限度が典型的に必要とされる。多くの分野に対して、受信-送信分離は、100dBよりも大きくすべきである。市販されている電子循環器は、10GHzまでの、3:1以下の部分的な帯域幅だけにわたる周波数で約14dBの分離を行う。しかし、部分的な帯域幅が増大するにつれて、分離の大きさは減少する。その結果として、高感度LNAを損傷から保護するのにダイオードのような入力電力制限装置が、時々、用いられる。更に、このような広帯域の循環器は、1dB程度である場合がある著しい損失を典型的に有する。この損失は最小受信機雑音指数へ加わり、この損失を次の段の増幅により回復できない。

30

【0011】

同じか、または異なる周波数で同時に送信及び受信を実行するのにも、受信機-送信機分離は欠くことができない。劣った受信機-送信機分離は、伝送信号が受信機チャンネルで伝播する幾らかの「漏れ」または「ブリードスルー」を引き起こすおそれがある。強い伝送信号のブリードスルーは、弱い所望の受信信号を受信機が検出することを阻止するおそれがある。

40

【0012】

更に、循環器が、循環器材料において非可逆性能を生じさせるのに必要とされる永久磁石を含むので、循環器は、比較的大きく、且つ重い装置である。循環器の大きさ及び重量は、フェイズドアレイアンテナ分野、並びに、宇宙ベース及び空中分野のような多くの分野に対して不所望である。

【0013】

図1Cには、電子スイッチ140を含む既知の送受信兼用の信号インターフェースを示す。このスイッチ140は、送信機から伝送信号を受信する入力ポート142と、受信信

50

号を受信機へ移す出力ポート144とを含む。スイッチ140は、信号を送信及び受信する送受信兼用ポート146をも含む。アンテナ148は送受信兼用ポート146に電氣的に接続されている。

【0014】

スイッチ140は半2重動作を実行する。この半2重動作では、スイッチは受信信号を受信するか、または、伝送信号を送信することができるが、受信信号の受信と伝送信号の送信とを同時に行うことはできない。伝送信号及び受信信号が時間内に重複できないので、同時送受信は不可能である。スイッチ140の入力ポート142及び出力ポート144の分離は一般に、循環器120(図1B)の入力ポート122及び出力ポート124の分離よりも大きい40dBである。

10

【0015】

その他の既知のアンテナインターフェースはダイプレクサを用いる。しかし、ダイプレクサは狭帯域幅装置であり、伝送及び受信信号の周波数帯域は、周波数において重複できない。また、ダイプレクサは、比較的高い損失を有する。更なるその他のアンテナインターフェースは、カップラ及び/またはタップを用いるが、このようなインターフェースは、比較的高い損失を有する。

【0016】

図2Aには、本発明による送受信兼用信号インターフェース200を示す。この信号インターフェース200は、送信機から伝送信号を受信する入力ポート202と、受信信号を受信機へ移す出力ポート204とを含む。信号インターフェース200は、信号を送信及び受信する送受信兼用ポート206をも含む。

20

【0017】

信号インターフェース200は、第1及び第2の進行波導波路212, 214を有する非可逆導波路装置210を含み、第1及び第2の進行波導波路212, 214は、第1の進行波導波路212と第2の進行波導波路214との間に電磁界が非可逆的に結合するように位置付けられている。電磁界が一方向に強結合された電磁界の非可逆結合であって、その他の方向に実質的に結合しないようにする電磁界の非可逆結合を意味するように、ここでは、「非可逆的」を定義する。1つの既知の非可逆装置は、図1Bに関連して説明した循環器120のようなフェライトサーキュレータである。本発明の信号インターフェースは、2つの進行波導波路間に非可逆結合を用いて、入力ポートと出力ポートとの間の分離を達成する。

30

【0018】

本発明の一実施形態では、非可逆導波路装置210は光変調器である。光変調器は、連続的な非可逆結合を行うことができる。電気光学材料が、限定された電気光学係数を一方向に有するので、光変調器は一方向に良好な結合を行い、電気光学材料が、ごくわずかな、または零の電気光学係数をその他の方向に有するので、光変調器は、その他の方向にいかなる結合をも本質的に持たない。

【0019】

本発明のもう1つの実施形態では、非可逆導波路装置210は電子分布増幅器である。分布増幅器は、連続的な非可逆結合に対する集中定数近似を行うことができる。この実施形態では、分布増幅器が一方向に利得を有し、その他の方向にかなりの損失を有するように分布増幅器は設定されている。

40

【0020】

動作中、伝送されるべき信号は入力ポート202へ伝播し、第1の進行波導波路212により送受信兼用ポート206へ伝達され、第2の進行波導波路214へ非可逆的に結合される。送受信兼用ポート206により受信された信号は第1の進行波導波路212から第2の進行波導波路214へ、その後、出力ポート204へ非可逆的に伝達される。導波路212と導波路214との間の非可逆結合のため、伝送信号のほんの少しが出力ポート204に結合されるが、伝送信号の大部分は送受信兼用ポート206に現れる。

【0021】

50

図2Bには、図2Aの非可逆導波路装置210の電磁気結合を表す表250を示す。表250は、送受信兼用信号インターフェース200(図2A)のポート間の様々な接続、様々なポート対間の所望の結合、並びに、所望の結合を達成する役割を果たす機構を要約する。例えば、多くの用途に対して、高い結合効率を入力ポート202から送受信兼用ポート206まで達成し、その一方で、これと同時に、指定されていない結合を逆方向に達成するのが望ましい。逆方向の結合を、このポート対202, 206間の順方向の場合と同じにすることができる。これら2つのポート202, 206を直接に接続することにより、このような性能を送受信兼用信号インターフェース200で達成できる。

【0022】

表250は、送受信兼用信号インターフェース200(図2A)が、低い結合効率を出力ポート204(図2A)から送受信兼用ポート206(図2A)まで達成し、その一方で、これと同時に、高い結合効率を送受信兼用ポート206から出力ポート204まで達成できることを指摘している。表250は、送受信兼用信号インターフェース200が、低い結合効率を入力ポート202と出力ポート204との間でどちらの方向でも達成できることも指摘している。2つの進行波導波路212, 214が非可逆的に結合するので、送受信兼用信号インターフェース200は、これらの結果を達成できる。

【0023】

図3Aには、本発明による電子送受信兼用アンテナインターフェース300の一実施形態を示す。アンテナインターフェース300は、送信機から伝送信号を受信する入力ポート302と、受信信号を受信機へ移す出力ポート304とを含む。アンテナインターフェース300は、信号を送信及び受信する送受信兼用ポート306をも含む。アンテナ308は、送受信兼用ポート306に電氣的に接続されている。

【0024】

更に、アンテナインターフェース300は進行波増幅器310を含む。進行波増幅器310は、複数の比較的低い利得の増幅器段316により非可逆的に電氣的に結合された第1及び第2の進行波導波路312, 314を有する。進行波増幅器310内の連続する比較的低い利得の増幅器段316の出力は、第2の進行波導波路314に沿って配置されたタップに供給することにより一緒に結合される。

【0025】

入力ポート302は第1の進行波導波路312の入力端318へ電氣的に接続されている。送受信兼用ポート306は第2の進行波導波路314の出力端320に電氣的に接続されている。出力ポート304は第2の進行波導波路314の入力端322へ電氣的に接続されている。第1の進行波導波路312の出力端324は特性インピーダンスにより終端されている。

【0026】

進行波増幅器は当該技術分野で周知であり、広帯域幅(例えば、1~20GHz)にわたって高利得の増幅を行うのにしばしば用いられる。進行波増幅器310は、複数の比較的低い利得の増幅器段316を用いて第1の進行波導波路312と第2の進行波導波路314との間で信号を非可逆的に結合することにより高利得の増幅を一方向に行う。

【0027】

動作中、伝送信号が第1の進行波導波路312に沿って進行するにつれて、増幅された出力信号を発生させるように、伝送信号のエネルギーの一部は取り出され、比較的低い利得の増幅器段316へ供給される。しかし、個々の比較的低い利得の増幅器段316の出力が、第2の進行波導波路314に沿って双方向へ進行する信号を発生させるので、送信電力の半分は出力ポート304へ運ばれる。受信装置がLNAであり、高い送信電力が用いられる場合のような幾つかの用途では、伝送信号の幾らかを出力ポート304から阻止することを必要とする場合がある。

【0028】

図3Bには、本発明による電子送受信兼用アンテナインターフェース350のもう一つの実施形態を示す。アンテナインターフェース350は図3Aのアンテナインターフェー

10

20

30

40

50

ス300に類似する。しかし、アンテナインターフェース350では、分布増幅器316が異なって設定されている。アンテナインターフェース350では、入力ポート302は第1の進行波導波路312の出力端324に電氣的に接続されている。アンテナ308は第1の進行波導波路312の入力端318に接続されている。出力ポート304は第2の進行波導波路314の出力端320に電氣的に接続されている。

#### 【0029】

全2重動作では、受信信号は、進行波増幅器310を通過して伝播し、ここで、受信信号が増幅される。伝送信号は、アンテナ308へ第1の進行波導波路312に沿って「逆へ」送られる。幾らかの入力の保護を要求できるように、送信電力は、比較的低い利得の増幅器段316の各々の入力端に現れる。電力を分布増幅器316へ切り換えることにより半2重動作を達成できる。

10

#### 【0030】

図3Bに関連して説明した電子送受信兼用アンテナインターフェース350は、比較的低い雑音指数を具えることができる。その理由は、送受信兼用ポート306での受信信号が入力を分布増幅器310へ供給するためである。しかし、電子送受信兼用アンテナインターフェース300, 350の帯域幅は光素子の帯域幅よりも小さい。極めて広い帯域幅の送受信兼用アンテナインターフェースを必要とする用途に対して、例えば、100:1程度の部分的な帯域幅を用いるこれら用途に対して、送受信兼用信号インターフェースの光実施形態を用いることができる。

#### 【0031】

20

図4Aには、全2重動作を行う本発明の電気光学送受信兼用アンテナインターフェース400を示す。アンテナインターフェース400は、光入力ポート402、RF入力ポート404、RF送受信兼用ポート406及び光出力ポート408を含む。アンテナ410はRF送受信兼用ポート406に電氣的に接続されている。フォトダイオードのような光検出器412の出力端はRF入力ポート404に電氣的に接続されている。

#### 【0032】

アンテナインターフェース400は、光導波路416と、この光導波路416と電気光学通信するように位置付けられた電気導波路418とを有する電気光学変調器414をも含む。光導波路材料の電気光学係数によるRF場と光場との結合を意味するように、ここでは、「電気光学通信」を定義する。RF場が電気光学(e-o)係数により光屈折率を変える時に電気光学通信が生じる。

30

#### 【0033】

光導波路416の一端は、連続波(CW)光ビームを発生するCWレーザ420に光學的に接続されている。光導波路416の他端は、光出力ポート408へ光學的に接続されている。電気導波路418の一端はRF入力ポート404へ電氣的に接続されている。電気導波路418の他端はRF送受信兼用ポート406に電氣的に接続されている。

#### 【0034】

動作中、受信信号はアンテナ410により受信され、その後、RF送受信兼用ポート406を通過して電気導波路418へ伝播する。次に、受信信号は、TW電極構造体418に伝播する伝送信号に対して非可逆的に光導波路416に伝播するCW光ビームへ結合される。変調されたCW光ビームは光出力ポート408を通過して伝播する。

40

#### 【0035】

第2の進行波導波路を通過して伝播する第2の電磁波を導入することにより、送受信兼用信号インターフェース200に関連して説明した2つの導波路間の非可逆結合を高めることができる。2つの導波路での伝播速度が整合され、いわゆる速度整合状態であるならば、電気導波路418と光導波路414との間で効果的な結合を達成できる。このことは、電気進行波導波路418での受信信号が導波路414での光波と共に伝播する場合である。逆に言えば、伝播速度が整合しないならば、効率の悪い結合が2つの導波路間に存在する。電気進行波導波路418での信号が、導波路414での光波の伝播方向と逆方向に伝播している時、伝播速度の不整合の極端な場合が生じる。このことは、電気進行波導波路

50

418での伝送信号が導波路414での光波と逆に伝播する場合である。

【0036】

RF伝送信号は光搬送波に変調され、光検出器412に伝播する。この光検出器では、光搬送波はRF伝送信号へ変換し直される。RF伝送信号は電気導波路418へ伝播し、次に、RF送受信兼用ポート406を通過して、RF伝送信号が放射するアンテナ410へ伝播する。電気光学送受信兼用アンテナインターフェース400は受信信号を受信し、これと同時に伝送信号を時間内に送信できるので、全2重動作を行うことができる。

【0037】

アンテナインターフェースが線形回路網であり、従って、場が線形回路網内で重ね合わされるので、全2重動作を達成できる。従って、複数の刺激へのアンテナインターフェース400の応答は、すべてのその他の刺激が零に等しい個々に加えられた各刺激へのアンテナインターフェース400の応答の合計に相当する。例えば、伝送信号が伝播し、受信信号が零に等しければ、電気導波路418は、アンテナの出力インピーダンスだけを終端負荷とみなす。また、受信信号が伝播し、伝送信号が零に等しければ、電気導波路418は、送信ドライバの出力インピーダンスだけを終端負荷とみなす。

10

【0038】

図4Bには、比較的高度な送信-受信ポート分離と共に半2重動作を行う本発明の電気光学送受信兼用アンテナインターフェース430を示す。アンテナインターフェース430は図4Aのアンテナインターフェース400に類似する。しかし、アンテナインターフェース430は、CWレーザ420と光入力ポート402との間に光学的に結合された光スイッチ432を含む。

20

【0039】

アンテナインターフェース430の動作は図4Aのアンテナインターフェース400の動作に類似する。しかし、伝送中、信号が光出力ポート408に現れないようにするため、伝送中、光スイッチ432を開いてCW光ビームを失わせる。伝送中、CW光ビームを失わせることは、送信-受信ポート分離を増大させる。その他の実施形態では、CWレーザ420での光放出を刺激する電気または光ポンプを制御してCW光ビームを失わせる。更なるその他の実施形態では、電気光学変調器414を制御して、アンテナインターフェースの出力ポート408での電力を最小限に抑える。

【0040】

図4Cには、CW光ビームを局部発振器で変調する本発明の電気光学送受信兼用アンテナインターフェース440を示す。このアンテナインターフェース440は図4Aのアンテナインターフェース400に類似する。しかし、アンテナインターフェース440は、CWレーザ420の出力端と光入力ポート402との間に光学的に結合された電気光学変調器442を含む。アンテナインターフェース440は、電気光学変調器442のRF入力端へ電氣的に接続された出力端を有する局部発振器444をも含む。

30

【0041】

アンテナインターフェース440の動作も図4Aのアンテナインターフェース400の動作に類似する。しかし、アンテナインターフェース440の電気光学変調器442は、CW光ビームを単一周波数の局部発振器信号で変調する。電気光学変調器414は受信信号を、単一周波数の局部発振器信号により変調されたCW光ビームに変調する。出力ポート408で結果として生じた光信号は、局部発振器444によって発生され、CW光ビームに変調された信号の周波数により周波数変換された、送受信兼用ポート406で受信された受信信号である。

40

【0042】

図4Dには、光搬送波を発生するパルスレーザ452を含む本発明の電気光学送受信兼用アンテナインターフェース450を示す。このアンテナインターフェース450は図4Aのアンテナインターフェース400に類似する。しかし、アンテナインターフェース450は、パルス化された光ビームを発生するパルスレーザ452を含む。

【0043】

50

アンテナインターフェース450の動作も図4Aのアンテナインターフェース400の動作に類似する。しかし、受信信号は、パルスレーザ452により発生されたパルス光ビームを変調する。アンテナ410から送受信兼用ポート406へ伝播する受信信号がパルス光ビームに作用すれば、周期的にサンプリングされた受信信号が光出力ポート408で発生される。

**【0044】**

データを送信し、受信する送受信機として、図4A～Dに示す電気光学送受信兼用アンテナインターフェースを設定できる。本発明の送受信機は、光検出器412の光入力端へ光学的に結合される光データ源454を含む。光データ源454は、送受信機により送信されるデータを発生する。送受信機は、光出力ポート408へ光学的に結合される復調器456をも含む。例えば、復調器456は、光信号をRF受信信号へ変換する光検出器と、RF受信信号を復調する電子復調器とを含むことができる。

10

**【0045】**

図4Eには、本発明による電気光学単一指向性信号インターフェース460を示す。この信号インターフェース460は図4Aのアンテナインターフェース400に類似する。しかし、信号インターフェース460は、伝送信号を送信せず、単に受信信号を受信するように設計された単一指向性ポート462を含む。更に、RF電気入力ポート404は、電気導波路418の特性インピーダンスのようなインピーダンス464により終端されている。

**【0046】**

20

信号インターフェース460の動作も図4Aのアンテナインターフェース400の動作に類似する。しかし、受信信号経路は、伝送信号がアンテナインターフェース400の受信信号から分離されたのと同じように、動作周波数の範囲にわたって終端インピーダンス464により発生されたいかなる雑音からも効果的に分離されている。光出力端408で雑音を最小限に抑えることは、信号インターフェース460に接続された受信機の信号対雑音比を改善する。

**【0047】**

光出力端408で雑音を最小限に抑えることは、本発明による送受信兼用信号インターフェースの電気光学実施形態にとって重要である。その理由は、これらインターフェースは、アンテナとRF送受信兼用ポートとの間にLNAを含むことができないためである。伝送信号もアンテナとRF送受信兼用ポートとの間の信号経路に沿って進行するので、LNAを用いることができない。その結果として、本発明の信号インターフェースの多くの用途に対して、従来の電子LNAを用いず、低い雑音指数を達成するのが望ましい。

30

**【0048】**

LNAを用いず、多くの実際的な通信システムで最小の雑音指数を達成するため、レーザRINのようなリンク内の雑音源を最小限に抑える必要がある。更に、変調器は、十分に感度の良い程度に低いスイッチング電圧を有する必要がある。要求された感度及び帯域幅を有する変調器は、現在、開発されている。例えば、0.3Vよりも低いVを有するマッハツェンダ変調器は、本願明細書の譲渡人により開発されている。このような変調器を低雑音レーザと組み合わせれば、50GHzの帯域幅にわたって5dBの雑音指数を有する光ファイバリンクを達成できる。

40

**【0049】**

図5には、マッハツェンダ(MZ)干渉型変調器502を含む本発明の送受信兼用電気光学アンテナインターフェース500の一実施形態を示す。このアンテナインターフェース500は、光入力ポート504、光伝送信号入力ポート506、RF送受信兼用ポート508及び光出力ポート510を含む。アンテナ512はRF送受信兼用ポート508に電氣的に接続されている。光伝送信号入力ポート506は、フォトダイオードのような光検出器514の入力端に光学的に結合されている。光検出器514の出力端はドライバ増幅器516の入力端515に電氣的に接続されている。幾つかの実施形態では、RF伝送信号は、図5に点線により示すようにドライバ増幅器516の入力端515に直接に供給

50

される。CWレーザ518は光入力ポート504へ光学的に結合されている。

【0050】

MZ変調器502は、光入力ポート504へ光学的に結合されている光入力端と、光出力ポート510へ光学的に結合されている光出力端とを有する。MZ変調器502は、進行波(TW)電極構造体518及び光導波路520を含む。ドライバ増幅器516の出力端はTW電極構造体518に電氣的に接続されている。ドライバ増幅器516の出力インピーダンスはTW電極構造体518の一端を終端する。アンテナ512のインピーダンスはTW電極構造体518の他端を終端する。一実施形態では、MZ変調器502のTW電極構造体518は、受信信号をCW光ビームの光場と速度整合するように設計されている。速度整合は、MZ変調器502の帯域幅を維持しながら、MZ変調器の感度を改善できる。

10

【0051】

一実施形態では、MZ変調器502のTW電極構造体518は比較的厚い。この実施形態では、TW電極構造体518の厚みは、過度の加熱損失または電気損失なしに、ドライバ増幅器516により増幅された信号を送信するのに充分であるように選択されている。一実施形態では、TW電極構造体518の厚みは、低いスイッチング電圧、従って、低いリンク雑音指数を達成するように選択されている。一実施形態では、電極構造体は、適度の(例えば、10ワットよりも少ない)送信電力で比較的低い損失を伴って比較的冷たい動作を行うように選択されている。このようなアンテナインターフェースは、典型的なフェイズドアレイの個々のアンテナ素子に対して充分である。

20

【0052】

動作中、受信信号はアンテナ512により受信され、次に、RF送受信兼用ポート508を通してTW電極構造体518へ伝播する。この受信信号は次に、非可逆的にMZ変調器の光導波路520に伝播するCW光ビームに結合される。受信信号はCW光ビームに変調される。変調されたCW光ビームは、次に、光出力ポート510を通して伝播する。

【0053】

光ファイバ、導波路または自由空間に伝播する光伝送信号は光伝送信号入力ポート506により受信され、次に、光検出器514の入力端へ供給される。光検出器514はRF伝送信号を発生する。ドライバ増幅器516は、アンテナ512が放射するのに適するレベルまでRF伝送信号を増幅する。増幅された伝送信号は、速度整合方向と逆の方向へTW電極構造体518を通して伝播する。その結果として、アンテナインターフェース500の伝送信号は、光波を変調するのに比較的効率的ではない。しかし、変調効率の減少は、アンテナインターフェース500の送信-受信分離を増大させる。

30

【0054】

送信-受信分離は幾つかのパラメータの関数である。送信-受信分離は伝播の方向の関数である。例えば、光信号と逆の方向へ伝播する電気信号に対するMZ変調器502の感度は、光信号の方向へ伝播する電気信号に対するMZ変調器502の感度よりも小さい。

【0055】

送信-受信分離はCW光信号の光電力の関数でもある。同時送受信が必要でない実施形態では、伝送中の光電力を減少させることにより送信-受信分離を増大できる。例えば、CWレーザ518が作動していないという制限では、送信-受信分離は無限である。従って、パルスによりCWレーザ518をオン及びオフすることにより、本発明のアンテナインターフェース500は、受信モードと送信モードとの間で理想的な(すなわち、オフモードで無限の分離を有する)電子切り換えの等価物を実装できる。

40

【0056】

図6には、図5に関連して説明したレーザ518及びMZ変調器502と、pinフォトダイオード検出器とを含む受信リンクに対する平均リンク光検出器電流の関数として計算されたリンク雑音指数のグラフ600を示す。グラフは、変調器の様々な値Vとレーザの相対強度雑音(RIN)とについて示す。

【0057】

50

受信リンクの出力端に接続された光検出器が10 mAよりも大きい電流を有する場合と、レーザの相対強度雑音(RIN)が十分に小さい場合とに、 $V < 0.3$  Vの要件を満たしている変調器が、5 dBよりも小さい雑音指数を持つリンクを可能にすることをグラフ600は指摘している。このような変調器を本発明のアンテナインターフェースに用いることは、低い雑音指数のアンテナインターフェースをもたらす。従って、LNAの必要なしで、低い雑音指数を有するように本発明のアンテナインターフェースを構築できる。また、本発明のアンテナインターフェースは電子循環器を含まないので、電子循環器に起因する雑音指数のいかなる増大も存在しない。

#### 【0058】

比較的低い雑音指数の通信リンクを構築するのに本発明のアンテナインターフェースを用いることができる。本発明の電気光学送受信兼用アンテナインターフェースを用いる通信リンクには、3つの支配的な雑音源がある。第1の雑音源は、CWレーザ420(図4E)により発生された相対強度雑音(RIN)である。第2の雑音源は、終端インピーダンス464により発生された雑音である。第3の雑音源は、電気伝送線418により発生された熱雑音である。

#### 【0059】

固体レーザのように低いRINを有するレーザを選択することにより、CWレーザ420により発生されたRINを、無視できるレベルまで減少させることができる。アンテナインターフェースの所望の帯域幅内の最も低い周波数を超える周波数では、終端インピーダンス464により発生された雑音は重要でない。その理由は、光搬送波を変調するのに雑音は効力がないためである。終端インピーダンスにより発生された雑音が不整合方向へ伝播する(すなわち、速度整合方向と反対の方向へ伝播する)ので、効力のない変調が生じる。進行波電極で抵抗損により発生された熱雑音は、電極の長さに沿って統合される。

#### 【0060】

2 dBよりも小さい雑音指数を有する広帯域低雑音増幅器は、市販されている。受動型光ファイバリンク(すなわち、能動型電子または光増幅器を用いないリンク)は、広帯域幅リンクに対して20~30 dB程度であるおそれがある比較的高い雑音指数を典型的に有する。変調器の集中定数電極のインピーダンスが入力インピーダンスに正確に整合すれば、受動型光リンク(すなわち、LNAを用いないリンク)に対する雑音指数限度は3 dBに等しい。例えば、C. Cox氏等著、「Relationship Between Gain and Noise Figure of an Optical Analog Link」、カリフォルニア州サンフランシスコ、IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., 1996年6月, p. 1551~1554を参照する。

#### 【0061】

受動型光リンクで3 dBより下に雑音指数を減少させるために雑音指数減少技術を用いることができる。例えば、発生源と変調器の集中定数電極構造体への入力との間のインピーダンス不整合を用いて雑音指数を減少させることができる。例えば、E. Ackerman氏等、「Input Impedance Conditions for Minimizing the Noise Figure of an Analog Optical Link」、コロラド州デンバー、IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., 1997年6月, p. 237~240を参照する。この文書に記載された技術を用いて2.5 dBの記録的な雑音指数を得た。

#### 【0062】

しかし、インピーダンス不整合技術は幾つかの制限を有する。例えば、インピーダンス不整合技術は、本質的に低周波数及び/または狭帯域幅技術である。その上、システムへ導入されたインピーダンス不整合は、不所望の副次的な悪影響を及ぼすおそれがある。例えば、インピーダンス不整合は、アンテナパターンの劣化を生じさせるおそれがある。

#### 【0063】

進行波変調器を用いるリンクについて、リンク利得が十分に高く、レーザRINが充分

10

20

30

40

50

に低い場合に達成できる雑音指数である最小達成可能な雑音指数を以下のように書くことができる。すなわち、

$$NF_{min} = 10 \log [1 + x]$$

ここで、 $x$ を、

【0064】

【数1】

$$x = \frac{\sin^2(2\pi f n L_{電極}/c)}{(2\pi f n L_{電極}/c)^2} + \left[ \frac{\alpha L_{電極}}{1 - e^{-\alpha L_{電極}}} \left( 1 + \frac{2}{\alpha L_{電極}} \left[ \ln \left( 1 + \sqrt{1 - e^{-\alpha L_{電極}}} \right) - \sqrt{1 - e^{-\alpha L_{電極}}} \right] \right) \right]^2$$

として表すことができる。

10

【0065】

$[\sin(x)/x]^2$ の項は、終端インピーダンスにより発生された逆伝播する雑音の影響を表す。残りの項は、単位長さ当たり幾らかのマイクロ波減衰をもたらす電極の抵抗損により発生された熱雑音の影響を表す。

【0066】

図7A～Cには、CWレーザと、進行波電極を有するMZ変調器と、pinフォトダイオード検出器とから成るリンクに対する計算された利得及び最小(すなわち、 $RIN=0$ )雑音指数データ対周波数のグラフ700を示す。このデータは、100MHzの周波数で30dBに等しいリンク利得を生じさせる $V$ の値及び平均光検出器電流を前提とする。2つの値の電極長さについて計算した結果をグラフ700に示す。2cmの電極に対するデータを点線により表し、4cmの電極長さに対するデータを破線で表す。すべてのグラフに対して、 $0.0015 \text{ GHz}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ に等しい $\alpha$ の値を仮定する。グラフ702は、 $0 \text{ GHz}^{-1/2} \text{ cm}^{-1}$ に等しい $\beta$ に対するデータを表す。グラフ704は、 $\beta_0 = 0.010 \text{ GHz}^{-1/2} \text{ cm}^{-1}$ に対するデータを表す。グラフ706は、 $\beta_0 = 0.043 \text{ GHz}^{-1/2} \text{ cm}^{-1}$ に対するデータを表す。

20

【0067】

グラフ702, 704, 706は、比較的広い帯域幅にわたって受動的に整合された光リンクに対して3dBの雑音指数限度を破ることができるということを指摘している。直感的には、この結果の理由は、送信-受信分離を行う同じ効果が、電気導波路418(図4E)の端部の終端インピーダンス464により発生された雑音からの分離をも行うということである。終端インピーダンス464により発生された雑音は典型的に、3dB雑音指数限度を生じさせる原因になっている。従って、終端インピーダンス464により発生された雑音の排除(または、少なくともかなりの減少)は、3dBよりも小さいリンク雑音指数を達成させることができる。

30

【0068】

本発明の電気光学信号及びアンテナインターフェースは、多数の重要な特徴を有する。例えば、本発明のアンテナインターフェースはLNAを含まない。LNAを排除することは、非常に簡単なアンテナインターフェースをもたらす、高い送信電力により生じるおそれのある可能な増幅器被害を取り除く。また、本発明の電気光学アンテナインターフェースは電子循環器を含まない。電子循環器を排除することはインターフェースの重量を減少させ、送信-受信分離及び/または動作帯域幅を増大させることができる。

40

【0069】

更に、狭帯域または広帯域動作を行うように本発明の電気光学アンテナインターフェースを設計できる。また、本発明の電気光学アンテナインターフェースは、比較的低い雑音指数を有する受信機アンテナインターフェースを構成でき、適度な電力レベルを有する送信機インターフェースを構成できる。その上、本発明の電気光学アンテナインターフェースは、比較的低い損失と、高度な送信-受信分離とを有する。

【0070】

本発明の信号及びアンテナインターフェースは、多数のその他の特徴を有する。例えば、本発明の信号及びアンテナインターフェースは、本明細書で記述したように本質的に広

50

帯域であり、帯域幅を、比較的高い周波数まで延長できる。本発明の信号及びアンテナインターフェースは、本明細書で記述したように比較的小型、且つ、軽量でもある。例えば、アンテナ素子に物理的に装着すべき部品は変調器 5 0 2 及び送信ドライバ 5 1 6 だけである。より高い送信電力が要求されるならば、電力増幅器を含めることができる。遠く離れた位置に CW レーザ 5 1 8 を位置付けることができ、光ファイバを介してアンテナインターフェースへ結合できる。光ファイバを介してアンテナインターフェースへ伝送信号を結合すれば、アンテナインターフェースへの従来の電子供給を完全に排除できる。

【 0 0 7 1 】

本発明のアンテナインターフェースは多数の用途を有する。例えば、共形アンテナアレイ用の薄肉の開口アンテナに本発明のアンテナインターフェースを用いることができる。また、本発明のアンテナインターフェースは、比較的小型で、且つ、軽量であるので、空中及び人工衛星プラットフォームに特に適する。例えば、本発明のアンテナインターフェースを含む送信 - 受信モジュールの重量を、従来の送信 / 受信モジュールの重量の 1 0 % よりも少なくすることができる。

【 0 0 7 2 】

(均等物)

特定の好適な実施形態に関して本発明を特に示し、説明したが、本明細書で規定した本発明の精神及び範囲から逸脱することなく、形態及び細部における様々な変更を行うことができることを当業者は理解すべきである。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 7 3 】

【図 1 A】図 1 A には、当該技術分野で既知である一般的な送受信兼用の信号インターフェースを示す。

【図 1 B】図 1 B には、電子循環器を含む既知の送受信兼用の信号インターフェースを示す。

【図 1 C】図 1 C には、スイッチを含む既知の送受信兼用の信号インターフェースを示す。

【図 2 A】図 2 A には、本発明による送受信兼用信号インターフェースを示す。

【図 2 B】図 2 B には、図 2 A の送受信兼用信号インターフェースのポート対間での電磁気結合を示す表と、この結合を達成するやり方とを表す。

【図 3 A】図 3 A には、本発明による電子送受信兼用アンテナインターフェースの一実施形態を示す。

【図 3 B】図 3 B には、本発明による電子送受信兼用アンテナインターフェースのもう 1 つの実施形態を示す。

【図 4 A】図 4 A には、全 2 重動作を行う本発明の電気光学送受信兼用アンテナインターフェースを示す。

【図 4 B】図 4 B には、比較的高度な送信 - 受信ポート分離と共に半 2 重動作を行う本発明の電気光学送受信兼用アンテナインターフェースを示す。

【図 4 C】図 4 C には、連続波光ビームを局部発振器信号で変調する本発明の電気光学送受信兼用アンテナインターフェースを示す。

【図 4 D】図 4 D には、光搬送波を発生するパルスレーザを含む本発明の電気光学送受信兼用アンテナインターフェースを示す。

【図 4 E】図 4 E には、本発明による電気光学単一指向性アンテナインターフェースを示す。

【図 5】図 5 には、マッハツェンダ変調器を含む本発明の送受信兼用電気光学アンテナインターフェースの一実施形態を示す。

【図 6】図 6 には、図 5 に関連して説明したレーザ及び M Z 変調器と、pin フォトダイオード検出器とを含む受信リンクに対する平均リンク光検出器電流の関数として計算されたリンク雑音指数のグラフを示す。

【図 7】図 7 A ~ C には、CW レーザと、進行波電極を有する M Z 変調器と、pin フォ

10

20

30

40

50

トダイオード検出器とから成るリンクに対する計算された利得及び最小（すなわち、 $RIN = 0$ ）雑音指数対周波数のグラフを示す。

【図 1 A】

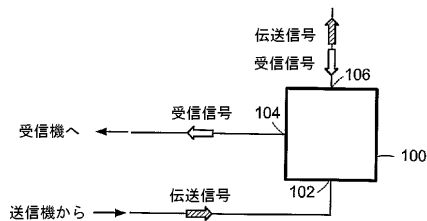


FIG. 1A  
従来技術

【図 1 C】

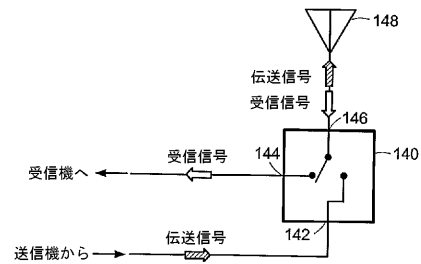


FIG. 1C  
従来技術

【図 1 B】

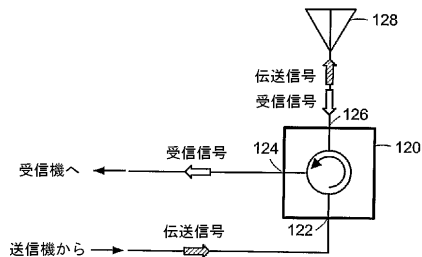


FIG. 1B  
従来技術

【図 2 A】

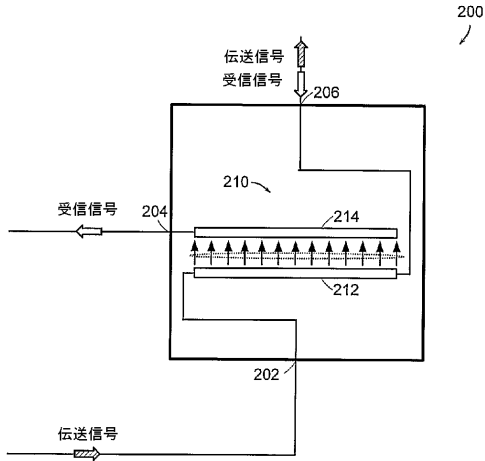


FIG. 2A

【図 2 B】

ポート間の接続	所望の結合効率	機構
入力から送受信兼用まで	高い	直接接続
送受信兼用から入力まで	配慮しない	
出力から送受信兼用まで	低い	非可逆結合
送受信兼用から出力まで	高い	
入力から出力まで	低い	進行波導波路
出力から入力まで	低い	

FIG. 2B

【図 3 A】

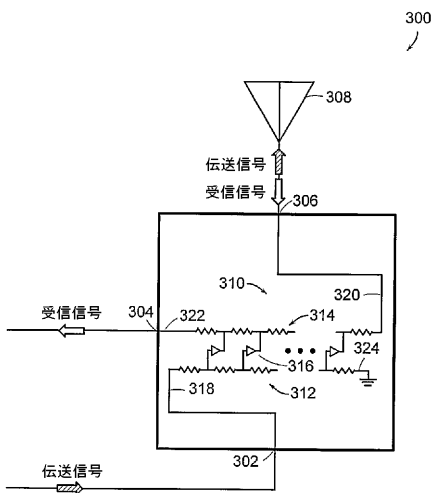


FIG. 3A

【図 3 B】

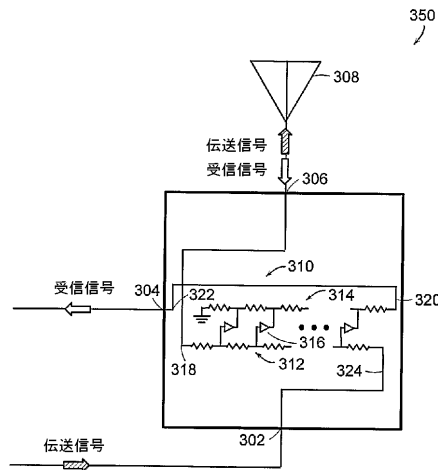


FIG. 3B

【図 4 A】

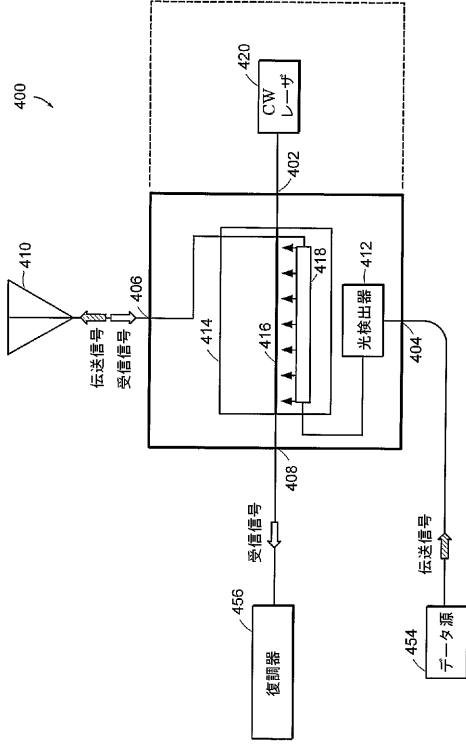


FIG. 4A

【図 4 B】

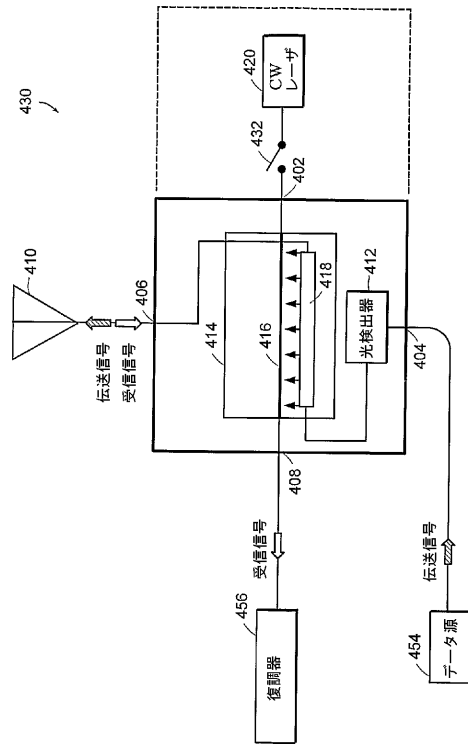


FIG. 4B

【図 4 C】

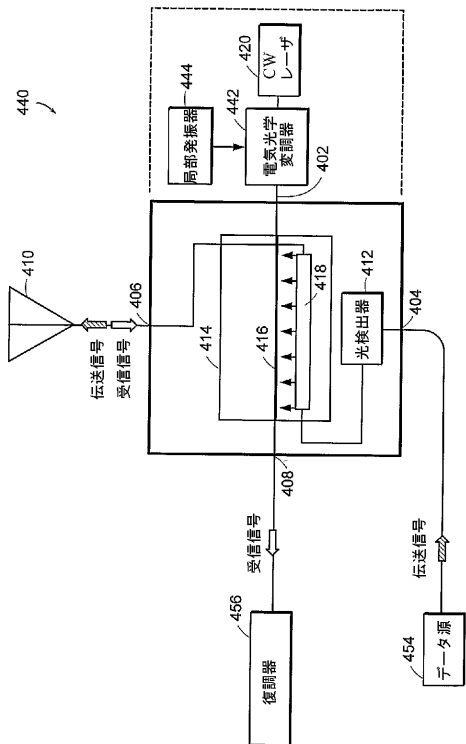


FIG. 4C

【図 4 D】

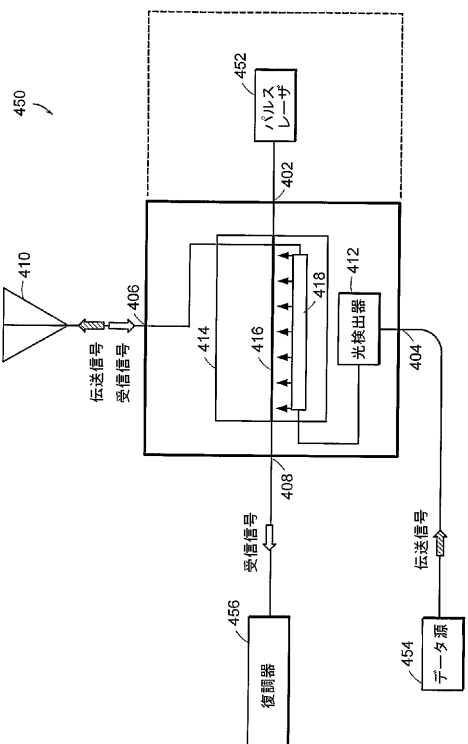


FIG. 4D

【図4E】

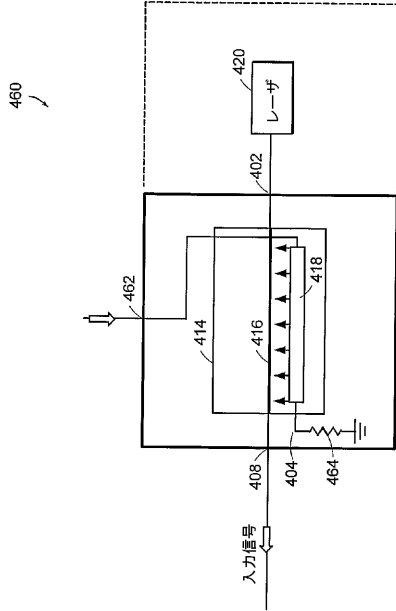


FIG. 4E

【図5】

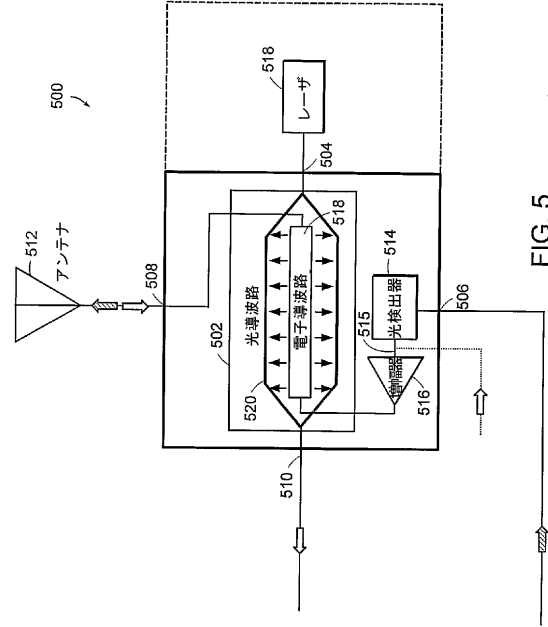


FIG. 5

【図6】

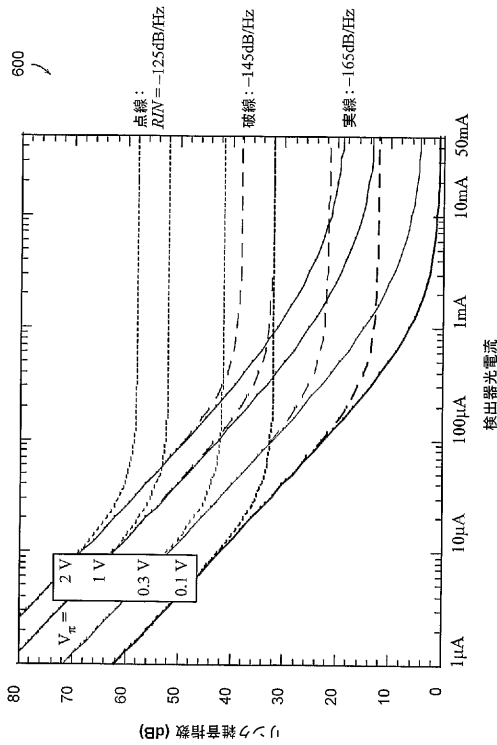


FIG. 6

【図7】

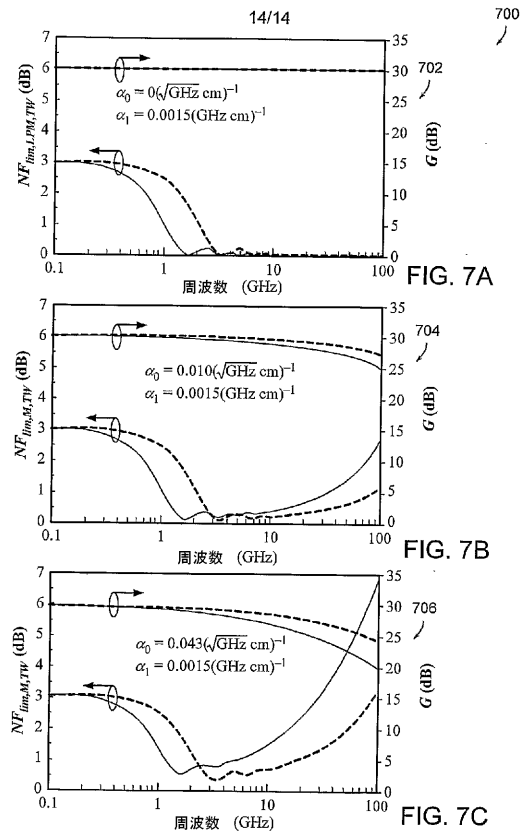


FIG. 7A

FIG. 7B

FIG. 7C

---

フロントページの続き

- (72)発明者 コックス, チャールズ  
アメリカ合衆国 マサチューセッツ 01741, カーライル, ワイルドウッド ドライブ  
100
- (72)発明者 アッカーマン, エド  
アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02139-2302, ケンブリッジ, ビゲロー スト  
リート 36

審査官 山中 実

- (56)参考文献 特開昭57-197934(JP, A)  
特開平09-008737(JP, A)  
米国特許第02973512(US, A)  
欧州特許出願公開第00282293(EP, A1)  
米国特許第05369381(US, A)  
特開平10-224257(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B 1/40  
H04B 10/04  
H04B 10/06  
H04B 10/142  
H04B 10/152