

(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2005-260925

(P2005-260925A)

(43) 公開日 平成17年9月22日(2005.9.22)

(51) Int. Cl.⁷

H04B 10/04
G02F 1/017
G08C 23/04
H04B 10/00
H04B 10/06

F I

H04B 9/00 L
G02F 1/017 506
G08C 23/00 A
H04B 9/00 A

テーマコード(参考)

2F073
2H079
5K102

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2005-31755 (P2005-31755)
(22) 出願日 平成17年2月8日(2005.2.8)
(31) 優先権主張番号 10/782051
(32) 優先日 平成16年2月19日(2004.2.19)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 399117121
アジレント・テクノロジーズ・インク
AGILENT TECHNOLOGIES, INC.
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト
ページ・ミル・ロード 395
395 Page Mill Road
Palo Alto, California
U. S. A.

(74) 代理人 100087642
弁理士 古谷 聡
(74) 代理人 100076680
弁理士 溝部 孝彦
(74) 代理人 100121061
弁理士 西山 清春

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバケーブルを介して遠隔から刺激を与え、電気信号を計測する装置

(57) 【要約】

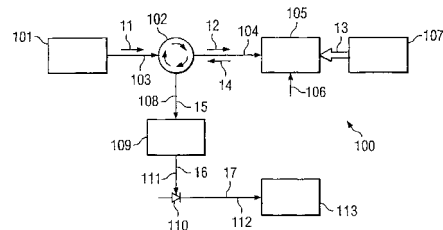
【課題】

遠隔地で計測された電気信号を歪ませることなく計測器まで伝送する手段を提供すること。

【解決手段】

光信号変調器105、205、305並びに該光信号変調器に接続された入力光導波路104および出力光導波路104を含む光電気システム100、200、300。本システムは光信号変調器内に光反射要素403をさらに含み、該要素は、入力光導波路104から入射した入力光ビーム12を出力光導波路104を通じて出力光ビーム14として反射させるように配置される。本システムは光信号変調器に電気端子106をさらに有する。電気端子は該電気端子上的電気信号を入力光ビーム12と相互作用させるように構成される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光信号変調器（105，205，305）と、
前記光信号変調器に接続された入力光導波路（104）および出力光導波路（104）と、

前記入力光導波路（104）を通過して入射した入力光ビーム（12）を出力光ビーム（14）として前記出力光導波路（104）を通過して反射させるように前記光信号変調器に配置された光反射要素（403）と、

前記光信号変調器（105）に設けられた電気端子（106）であって、該電気端子上の電気信号を前記入力光ビーム12と相互作用させるように構成された電気端子（106）と

からなる光電気システム（100，200，300）。

【請求項 2】

前記光信号変調器（105）は、電界吸収変調器（EAM）（410）である、請求項1に記載の光電気システム。

【請求項 3】

前記入力光ビーム（22）は、前記電気信号（23）を変調する働きをする、請求項2に記載の光電気システム。

【請求項 4】

前記電気信号（13）は、前記出力光ビーム（14）を変調する働きをする、請求項2に記載の光電気システム。

【請求項 5】

変調された信号を伝送する方法であって、

光信号変調を用いて入力光ビーム（12）を電気信号（13）で変調するステップと

変調された光ビーム（14）を出力光ビームとして前記入力光ビーム（12）の方向とは異なる方向に反射させるステップと

からなる方法。

【請求項 6】

電界吸収変調を用いて前記入力光ビーム（22）と相互作用させることにより、前記電気信号（33）を同時に変調するステップをさらに含む、請求項5に記載の方法。

【請求項 7】

前記出力光ビーム（14）および前記入力光ビーム（14）が、1本の光ファイバ（104）を通過して反対方向に伝搬する、請求項5に記載の方法。

【請求項 8】

前記入力光ビーム（22）は、電気刺激信号（23）の複製を伝送する、請求項5に記載の方法。

【請求項 9】

前記出力光ビーム（35）は、遠隔の電気デバイス（307）からの電気応答信号（34）を電子計測機器（133）に伝送する、請求項5の方法。

【請求項 10】

前記入力光ビーム（22）は、電気刺激信号（33）の複製を遠隔の電気デバイス（307）に伝送する、請求項9に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は遠隔電気試験および計測に関し、詳しくは光ファイバケーブルを介して遠隔から刺激を与え、電気信号を計測するシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

発信源の電気信号や検出対象の電気信号が急激な変化を有する場合、すなわち高周波成分を含む場合、それらの電気信号を従来の手段を用いて遠隔地とやりとりすることはしばしば困難になる。一般に高周波信号は同軸ケーブルその他の伝送線路を介して伝送され、中継増幅器の助けを借りる場合もあれば、中継増幅器を必要としない場合もある。

【0003】

従来の伝送線路は周波数分散特性を有する。すなわち、伝送信号の高周波成分が低周波成分に対して減衰または過度に遅延され、伝送された信号が発信信号や検出信号に対して歪む性質を持つ。また、従来の伝送線路は、線路のインピーダンスの不均一性によって起こる反射によって信号が歪むこともある。通信システムの場合、或る程度の信号歪みを許容することもできるが、計測システムの場合、信号歪みを最小限に抑えなければならない。さらに、試験機器と試験対象デバイスとの間に大きな直流電圧差がある場合や、同軸ケーブル等の導電素子が存在する場合は、アンテナ試験等の測定に影響を与える可能性があるため、同軸ケーブル等による接続は実用的でない。

10

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明は一実施形態において光電気システムを提供する。この光電気システムは、光信号変調器、並びに該光信号変調器に接続された入力光導波路および出力光導波路を含む。このシステムは光信号変調器内に光反射要素をさらに含む。光反射要素は、入力光導波路を通して入射してきた入力光ビームを出力光導波路を通じて出力光ビームとして反射するように配置される。このシステムは光信号変調器内に電気端子をさらに含む。電気端子は、該電気端子上の電気信号を入力光ビームと相互作用させるように構成される。

20

【0005】

本発明は他の実施形態において、変調された信号を遠隔伝送する方法を提供する。この方法は、入力光ビームを光信号変調器を用いて電気信号で変調するステップと、変調された光ビームを出力光ビームとして入力光ビームとは異なる方向へ反射させるステップとを含む。

【発明を実施するための最良の形態】

【0006】

電気信号の検出は、その検出データを処理する計測機器から離れた場所で行なうことが必要とされたり、望ましい場合がある。同様に、電気信号は、その信号源から離れた場所まで伝送しなければならないことがある。実際、信号の検出と伝送を両方とも同じ物理的装置で行ない、効率的な方法で試験対象デバイスの性質を完全に究明できるようにすることが望ましい場合がある。

30

【0007】

遠隔試験に従来から用いられている距離範囲（数メートルから数百メートルの範囲）においてシングルモード光ファイバケーブルはその拡散性が十分に低く、無視できる程度の信号歪みしか生じない。また、光検出器やREAM（反射モード電界吸収変調器）は、有用範囲の信号レベルにおいて信号歪みが小さくなるように設計することができる。したがって、同軸ケーブルのような従来の電気伝送線路に比べて、電子計測機器と遠隔の試験対象デバイスとの間の距離を長くすることができる。

40

【0008】

図1は、本発明の一実施形態による、遠隔の試験対象デバイスから電子計測機器へ光ファイバケーブルを介して電気応答信号の複製を伝送するシステム100を示す。図1に示す遠隔検出構成において、CW光源101から発射された連続波（CW）光ビーム11は、光サーキュレータ102を通過し、CW光ビーム12として光導波路104を通過する。CW光ビーム12は、遠隔検出点の光信号変調器、例えばREAM（反射モード電界吸収変調器）105において、遠隔の電気デバイス107によって生成された遠隔電気信号13で変調される。通常、REAM105にはバイアス電圧106が印加され、線形動作が行なわれる。次に、変調された光ビーム14はREAM105で反射され、光導波路1

50

04、光サーキュレータ102および光導波路108を通過して、変調された光ビーム15として戻される。次に、変調された光ビーム15は通常、光増幅器109によって増幅され、増幅された光ビーム16として光導波路111を通して出力される。変調・増幅された光ビーム16は通常、光検出器110によって検出される。光検出器110は光電気信号17を生成し、それを電気ケーブル112を通して出力する。光電気信号17は遠隔電気信号13の複製であり、通常は電子計測機器113によって処理される。

【0009】

図2は、本発明の一実施形態による、遠隔の電気デバイスを刺激するための変調された信号を光ファイバ接続を介して遠隔伝送するシステム200を示す。変調信号源201からの変調された光信号21は、光ファイバリンク103および光サーキュレータ102を通過し、変調された光信号22として光ファイバリンク104を通過し、REAM(反射モード電界吸収変調器)205に入射する。REAM205は、図1に示したREAM105と同一のものでよい。REAM205は通常、負の電圧206でバイアスされ、変調された光信号22を電気信号23に変換する。電気信号23は試験対象の電気デバイス207に刺激を与える。遠隔電気デバイス207の応答は他の手段でモニタすることができ、その場合、サーキュレータ102、光増幅器109、光検出器110、電子計測器113を使用する必要はない。それらの構成要素が描かれているのは、図2の刺激試験および図1の応答試験が、どちらも同じ装置を用いて実施できることを示すためである。両者の違いは、光源がCW光源であるか、変調光源であるかにある。

10

【0010】

図3は、本発明の一実施形態による、遠隔の電気デバイスに対して光ファイバリンクを介して刺激信号と応答信号の両方を双方向に同時に伝送するシステム300を示す。変調光源201からの変調された光信号21は、光ファイバ接続103および光サーキュレータ102を通過し、変調された光信号22として光ファイバ接続104を通過し、反射モード電界吸収変調器(REAM)305に入射する。REAM305は、図2に示したREAM205と同一のものでよい。REAM305は通常、線形動作させるためにバイアス電圧306によってバイアスされ、変調された光信号22を電気信号33に変換する。電気信号33は試験対象の電気デバイス307に刺激を与える。電気デバイス307は刺激(33)に応答(34)して該電気デバイス307の端子電圧を変化させ、REAM305の反射係数を変調させる。REAM305の反射係数は入射光22に相互作用し、応答電圧34の変調された複製光35は、光導波路104、光サーキュレータ102および光導波路セグメント108を通過して変調された複製光36として反射される。変調された複製光36は通常、光増幅器109によって増幅され、変調・増幅された複製光16として光導波路セグメント111を通じて光検出器110に伝送され、電子計測機器113によって処理される。図3に示した構成の典型的応用形態は時間分域反射率測定(TDR)であるが、刺激/応答の他の組み合わせの応用形態を実施することもでき、例えば、ネットワーク分析(電子ネットワークの周波数領域試験)等を実施することもできる。

20

30

【0011】

頭字語「REAM」は、「反射モード電界吸収変調器」("Reflection-mode Electroabsorption Modulator")を表す。REAMは、基本的に反射モードで動作するように構成された電界吸収変調器である。REAMは、例えば変調器の第1の面に光を入射させ、変調器の反対側の面を鏡で終端することによって、反射モードで動作する。反射変調器は自由空間光ビームと共に使用され、通信システムの形成に使用される。

40

【0012】

光信号変調器は、電気光学変調(EOM)タイプ、電気機械変調(EMM)タイプおよび電界吸収変調(EAM)タイプなどを含む、いかなるタイプの反射モード変調器であってもよい。電気信号を変調された光に変換する電気-光変調器(EOM)や、変調された光を電気信号に変換する光検出器の使用は、多くの光通信システムで普通に実施されている。電界吸収変調器(EAM)を実施する利点は少ないが、電界吸収変調器(EAM)は、種々の変調器タイプの中でもとりわけ、光の変調器としての機能と、光の検出器として

50

の機能とを両方とも備えている点が、特に優れているものと考えられる。

【0013】

図4Aは、電界吸収変調器(EAM)401を含む変調器構成400を示す。電界吸収変調器(EAM)401は、光ビームの伝送強度を印加制御電圧402に比例させるように制御する。EAM401は、左側の面から入射した光41のうちの時間変動する比率に応じた部分を変調された光42として右側の面から出射させ、その時間変動する比率を時間変動する制御電圧402によって制御し、伝送される光を変調する。図4Bは、本発明の一実施形態による反射モードEAM(REAM)410を示す。EAM(REAM)410は、EAM401に反射面403(例えば、鏡など)を結合し、入力ビーム41や変調された出力ビーム43を変調器の左側の面から入出力するように構成したものである。

10

【0014】

検出やプロービングなどの応用分野におけるREAM構造の利点は、光路を1本しか必要としない点にある。例えば光路を光ファイバにすれば、全体の組立てを非常に容易かつ簡単に行なうことができるようになる。

【0015】

図5は、本発明の一実施形態による典型的なREAMにおいて入射電力を一定にしたときの制御電圧と反射電力の関係を示す伝達曲線を示すグラフである。反射電力は、水平軸501の制御電圧の関数として、垂直軸502に沿って示されている。バイアス電圧は、選択された特定値の制御電圧である。線形動作範囲の中央付近でデバイスをバイアスするために、電圧505のような負の直流バイアス値を印加しなければならない。これによって、平衡反射電力値504が生成される。そして、バイアス点503を中心とする線形動作が可能になる。 $V_{bias} = 0$ でデバイスを構成することもできるが、そのようなデバイスは一般に、変調電圧の変化に対する反射応答が遅くなる。

20

【0016】

REAMは、波長および制御電圧 $V_{control}$ の特定の値に応じて決まる度合いで光を吸収する。通常、 $V_{control}$ が0ボルトであるとき、REAMは「透明」と言われ、全ての光が反射される。 $V_{control}$ を V_{bias} に設定すると、REAMは線形領域で動作し、反射される光の量は印加電圧に線形比例する。この V_{bias} 値は、検出モードの動作で検出効率が最大でなくてもよいときに使用されることがある。REAMを例えば $V_{bias} = -5V$ でバイアスすると、ほぼ全ての入射光が吸収される。この V_{bias} 値は、検出モードの動作で最大の検出効率および帯域が必要とされるときに使用されることがある。

30

【0017】

$V_{control}$ を負の電圧に設定してREAMをバイアスすると、入射光が吸収され、入射光のエネルギーを用いて、可動電荷の「正孔-電子対」が生成される。それらの可動の正孔および電子は、REAMの電気端子から電荷の流れ(光電流)として掃き出される。この光電流の応答時間は短いため、入射光の強度が変調されると、その光を吸収することによって生成される光電流も変調され、それによって変調された光の光強度の有用な電氣的複製が生成される。このような動作メカニズムは光電効果と呼ばれ、従来は光検出器に用いられていたが、これによってREAMを光検出器として使用することが可能になる。

40

【0018】

電界吸収変調器の一例の動作に関する基本的説明については、インターネット上の下記のURLから入手することができる。

<http://www.bell-labs.com/project/oevlsi/tutorial/>

【0019】

量子井戸内においてのみ観察される特定の電界吸収メカニズムは、「量子閉じ込めシュタルク効果」と呼ばれる。このメカニズムは、半導体における他の電界吸収メカニズムと同様に、非常に高速である。タイムスケールが1ピコ秒を遥かに下回るまで、メカニズム自体に速度制限は基本的に全く存在しない。事実上、速度制限になるのは量子井戸に電圧

50

を印加するのに要する時間だけであり、その時間は通常、外部回路の抵抗 - キャパシタンス制限によって決まる。40 GHz の速度が、実証されている。

【0020】

図6は、電界吸収変調器(EAM)の一例である量子井戸変調器の構造600を示す。量子井戸601は、nがドーピングされた基板604上のpがドーピングされた上部接点602と、nがドーピングされた底部接点603との間に挟まれた、複数層の何もドーピングされていない半導体層である。これがダイオード構造を形成する。接点605, 606を介してこのダイオード構造を逆バイアスすると、量子井戸層に対して垂直な変調された電界をかけることができる。この電界は、入力光ビーム61を変調し、変調された光ビーム62を出力させる。構造600は、波長約850 nmで最も良好に動作するように、砒化ガリウムやアルミニウム砒化ガリウムを用いて製作されているが、他の半導体材料を用いることもできる。量子井戸の構造および動作に関するさらに詳しい説明は、例えばD. A. B. Miller著の「Optoelectronic applications of quantum wells」、Optics and Photonics News 1、第2号、1990年2月、pp 7 - 15に記載されている。

10

【0021】

電気光学変調器は通常、ニオブ-タンタル酸カリウムやチタン酸バリウム等の結晶が有する二次電気光学効果(電気光学カー効果)を利用している。他の光変調器としては、二重水素リン酸カリウムや二重水素砒酸セシウム等の結晶に生じる線形電気光学効果(ポッケルス効果)を利用したものもある。電気機械変調器は、応力複屈折や光弾性の原理を利用して、結晶の水晶等の材料を用いた音響光学変調器の類を含む。電気光学変調および電気機械変調の概要については、Hecht著の「Optics」、第2版、アディソン-ウェズリー出版社、1987年、pp. 314 - 321に記載されている。

20

【0022】

図7Aは、本発明の一実施形態による、線形動作を行なわせるために、入力信号に結合された交流電圧でバイアスされたREAM構造700を示す。基本的なREAMデバイス701は、電子ダイオードとして図示されている。バイアス抵抗703を通してバイアス電圧71を印加するとともに、交流結合コンデンサ702を通して電気信号72を出し入れし、電気信号72を交流電圧に結合させる。REAM701には基準電圧73が印加される。光ビーム74, 75が電気信号72によって変調される。あるいは、光ビーム74, 75が電気信号72を変調する。多くの電気デバイスと同様に、図5に関して説明したように、REAMは通常バイアスされる。この適当なバイアス電圧は、検出対象電圧に一致させる必要はない。多くの場合、REAMと試験対象電圧との間に交流結合が必要である。

30

【0023】

図7Bは、本発明の一実施形態による差動対REAM構造710を示す。直流結合REAMセンサを構成する一つの方法は、2つの基本的なREAMデバイス701を差動対として動作するように構成することである。各バイアス抵抗703, 704を通して負のバイアス電圧71を印加するとともに、バイアス抵抗705を通して正バイアス電圧70を印加し、それらの電気信号を72, 73の部分でそれぞれ接続する。信号は、変調された電圧信号であってもよいし、直流基準電圧であってもよい。光ビーム74~77が電気信号72, 73によって変調される。あるいは、光ビーム74~77が電気信号72, 73を変調する。

40

【0024】

図8A~図8Eは、REAM構造の様々な応用形態を示す。図8Aは、本発明の一実施形態によるREAM構造800を示す。REAM構造800では、信号807およびグラウンド805からの電圧が、ハウジング808内の接点プローブチップ804, 806を通じてREAM801に印加される。入力光ビームおよび出力光ビーム81, 82は、光ファイバ803とREAM801の間のレンズ802によって結合される。REAM構造800は、高い入力インピーダンスを有し、信号線に対して最小限の電氣的負荷しか有しない。

50

【0025】

図8Bは、本発明の一実施形態によるREAM構造820を示す。REAM構造820では、ハウジング808内の非接触静電結合プロブチップ809, 811を通じて、REAM801に電圧810, 812が印加される。入力光ビームおよび出力光ビーム81, 82は、光ファイバ803とREAM801の間のレンズ802によって結合される。REAM構造820は、高い入力インピーダンスを有し、信号線に対して最小限の電氣的負荷しか有しない。

【0026】

図8Cは、本発明の一実施形態によるREAM構造840を示す。REAM構造840では、同軸コネクタ814に取り付けられたインピーダンス整合回路網813を通じてREAM801に電圧が印加される。入力光ビームおよび出力光ビーム81, 82は、光ファイバ803とREAM801の間のレンズ802によって結合される。REAM構造840は、同軸コネクタ(通常は50オーム)と同じ負荷を有する。

10

【0027】

図8Dは、本発明の一実施形態によるREAM構造860を示す。REAM構造860は、アンテナ815の端子を通じてREAM801に電圧が印加される。従来の構成と同様に、アンテナ815は、少なくとも2つの端子を有する単一のアンテナとして構成することができる。端子の1つは接地される場合がある。整合回路網813は、REAMのインピーダンスをアンテナ815にとって最適な負荷に変換する。入力光ビームおよび出力光ビーム81, 82は、光ファイバ803とREAM801の間のレンズ802によって結合される。

20

【0028】

図8Eは、本発明の一実施形態によるREAM構造880を示す。REAM構造880では、電磁波方向性結合器816を介してREAM801に電圧が印加される。この電圧は、電磁線路817上を進行する波形の振幅に比例する。入力光ビームおよび出力光ビーム81, 82, 83, 84は、光ファイバ803とREAM801の間のレンズ802によって結合される。

【0029】

本発明は特定の実施形態を参照して説明されているが、当業者であれば、上記の説明から多数の代替、修正、及び変形が明らかとなるであろう。従って、本発明には、特許請求の範囲に記載される本発明の思想および範囲に含まれるようなそれらの代替、修正、及び変形もすべて含めることを意図している。

30

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】本発明の一実施形態による、遠隔の試験対象電気デバイスから電子計測機器へ光ファイバケーブルを介して電気応答信号の複製を伝送するシステムを示す図である。

【図2】本発明の一実施形態による、光ファイバ接続を介して遠隔電気デバイスを刺激する変調された信号を伝送するシステムを示す図である。

【図3】本発明の一実施形態による、遠隔の電気デバイスに対して光ファイバを介して刺激信号と応答信号の両方を双方向に同時に伝送するシステムを表わす図である。

40

【図4A】光ビームの伝送強度を印加制御電圧に比例させるように制御する電界吸収変調器(EAM)を含む変調器構成を示す図である。

【図4B】EAMに反射面を結合して構成された、本発明の一実施形態による反射モードEAM(REAM)を示す図である。

【図5】本発明の一実施形態による典型的なREAMにおいて入射電力を一定にしたときの制御電圧と反射電力の関係を示す伝達曲線を示すグラフである。

【図6】電界吸収変調器(EAM)の一例である量子井戸変調器の構造を示す図である。

【図7A】本発明の一実施形態による、線形動作させるために、入力信号に結合された交流電圧でバイアスされるREAM構成を示す図である。

【図7B】本発明の一実施形態による差動対REAM構成を示す図である。

50

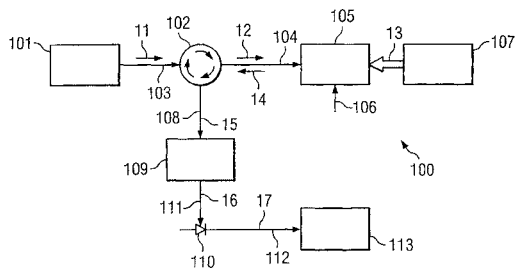
- 【図 8 A】 R E A M 構成の一応用形態を示す図である。
- 【図 8 B】 R E A M 構成の他の応用形態を示す図である。
- 【図 8 C】 R E A M 構成の他の応用形態を示す図である。
- 【図 8 D】 R E A M 構成の他の応用形態を示す図である。
- 【図 8 E】 R E A M 構成の他の応用形態を示す図である。

【符号の説明】

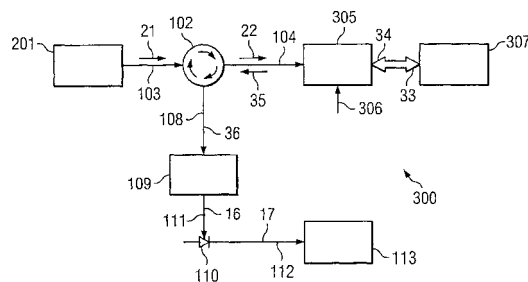
【 0 0 3 1 】

- 1 0 0、2 0 0、3 0 0 光電気システム
- 1 0 5、2 0 5、3 0 5 光信号変調器
- 1 0 4 光導波路
- 1 4、2 2 入力光ビーム
- 1 4、3 5 出力光ビーム
- 2 3 刺激信号
- 3 4 応答信号
- 1 0 6 バイアス電圧
- 1 1 3 電子計測機器
- 4 1 0 R E A M (反射モード電界吸収変調器)

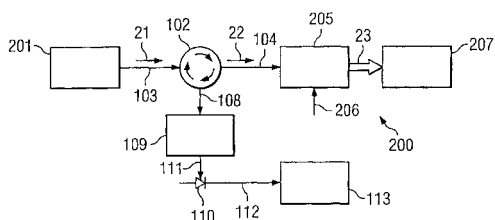
【 図 1 】



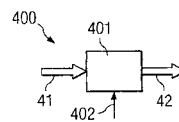
【 図 3 】



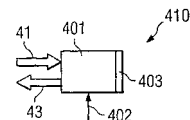
【 図 2 】



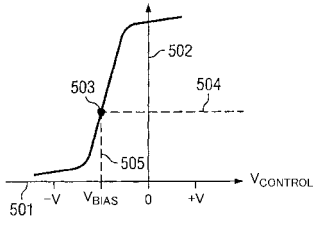
【 図 4 A 】



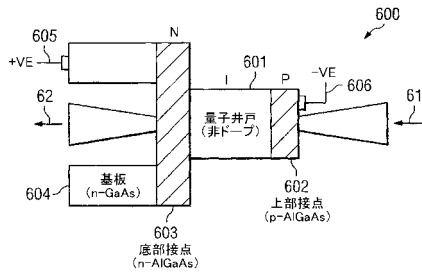
【 図 4 B 】



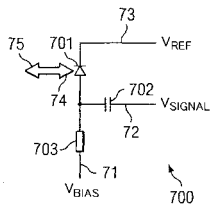
【図 5】



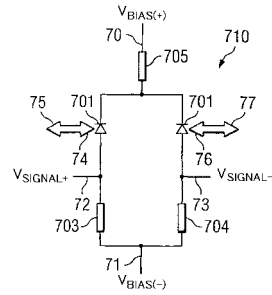
【図 6】



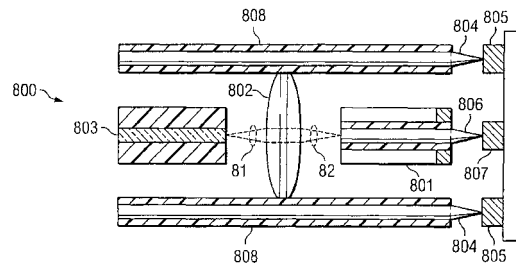
【図 7 A】



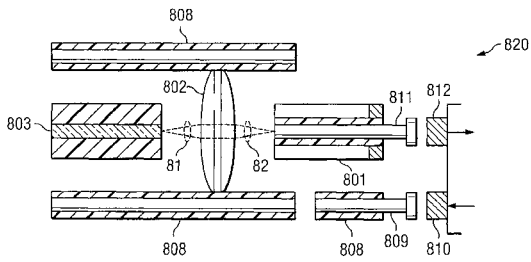
【図 7 B】



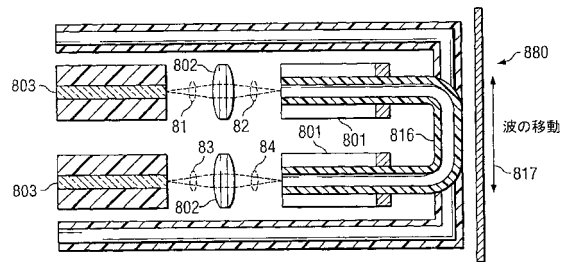
【図 8 A】



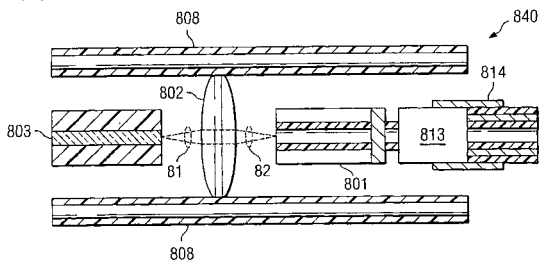
【図 8 B】



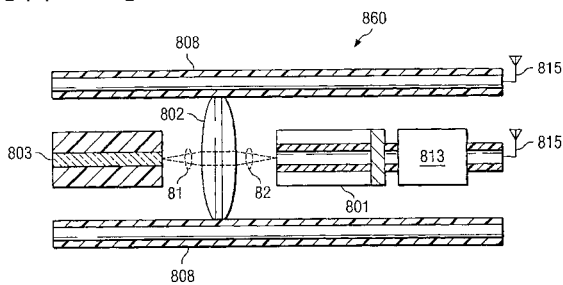
【図 8 E】



【図 8 C】



【図 8 D】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷ F I テーマコード(参考)
H 0 4 B 10/142
H 0 4 B 10/152
H 0 4 B 10/22

(72)発明者 ローリー・エル・ヴァン・チュイル
アメリカ合衆国カリフォルニア州9 4 0 2 2 , ロスアルトス, ユニバーシティ・アベニュー・4 7
4

Fターム(参考) 2F073 AA19 AB01 BB06 BC04 CC02 CD05 DD01 FH01 FH07 FH11
2H079 AA02 AA05 AA12 AA13 BA01 CA04 CA11 DA16 EA07 KA14
5K102 AA01 AA10 AB00 AH02 AH26 KA01 KA42 PH03 PH11 PH41