

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6041977号  
(P6041977)

(45) 発行日 平成28年12月14日(2016.12.14)

(24) 登録日 平成28年11月18日(2016.11.18)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 S 3/104 (2006.01)

H O 1 S 3/104

H O 1 S 3/0975 (2006.01)

H O 1 S 3/0975

H O 1 S 3/131 (2006.01)

H O 1 S 3/131

H O 1 S 3/00 (2006.01)

H O 1 S 3/00

B

B 2 3 K 26/382 (2014.01)

B 2 3 K 26/382

請求項の数 18 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2015-505816 (P2015-505816)  
 (86) (22) 出願日 平成25年4月5日(2013.4.5)  
 (65) 公表番号 特表2015-518657 (P2015-518657A)  
 (43) 公表日 平成27年7月2日(2015.7.2)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2013/035530  
 (87) 国際公開番号 W02013/154949  
 (87) 国際公開日 平成25年10月17日(2013.10.17)  
 審査請求日 平成28年1月14日(2016.1.14)  
 (31) 優先権主張番号 13/467,890  
 (32) 優先日 平成24年5月9日(2012.5.9)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)  
 (31) 優先権主張番号 61/624,096  
 (32) 優先日 平成24年4月13日(2012.4.13)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 512095392  
 コヒレント、 インコーポレイテッド  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 950  
 54, サンタ クララ, パトリック  
 ヘンリー ドライブ 5100  
 (74) 代理人 100078282  
 弁理士 山本 秀策  
 (74) 代理人 100113413  
 弁理士 森下 夏樹  
 (74) 代理人 100181674  
 弁理士 飯田 貴敏  
 (74) 代理人 100181641  
 弁理士 石川 大輔  
 (74) 代理人 230113332  
 弁護士 山本 健策

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パルス状CO<sub>2</sub>出力ーパルス成形および電力制御

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザ出力パルスの形態においてレーザ出力を提供するためのガス放電レーザを動作させる方法であって、前記レーザは、無線周波電力供給源(RFPS)によって給電される、離間されたガス放電電極とともに、前記放電電極間に形成されるレーザ共振器を含み、前記方法は、

前記レーザ共振器を励起するために、前記RFPSから前記ガス放電電極に第1のRFサブパルス列を送達することであって、前記列中の各サブパルスは、複数のサイクルのRFエネルギーを含み、前記第1のRFサブパルス列内のRFサブパルスは、前記第1のRFサブパルス列が単一RFパルスであるかのように、前記レーザ共振器が前記第1のRFサブパルス列に  
 10  
 応答するほど十分に短い時間だけ時間的に離間され、それによって、前記レーザ共振器は、前記第1のRFサブパルス列による励起に  
 20  
 応答して、第1のレーザ出力パルスを送達する、ことと、

前記第1のRFサブパルス列の送達に続いて、前記レーザ共振器を励起させるために、前記RFPSから前記ガス放電電極に第2のRFサブパルス列を送達することであって、前記第2の列中の各サブパルスは、複数のサイクルのRFエネルギーを含み、前記第2のRFパルス列中のRFサブパルスは、前記第2のRFサブパルス列が単一RFパルスであるかのように、前記レーザ共振器が前記第2のRFサブパルス列に  
 10  
 応答するほど十分に短い時間だけ時間的に離間され、それによって、前記第1の単一レーザ出力パルスの送達に  
 20  
 続いて、前記レーザ共振器は、前記第2のRFサブパルス列による励起に  
 30  
 応答して、第2

10

20

のレーザ出力パルスを送達し、前記第2のサブパルス列中のRFサブパルスの持続時間および数のうちの1つは、前記第2のレーザパルス中のエネルギーが前記第1のレーザパルス中のエネルギーにより密接に一致するように選択される、ことと

を含む、方法。

【請求項2】

前記第1のRFサブパルス列は、第1の持続時間を有する初期サブパルスに続いて、前記第1の持続時間より短い第2の持続時間を有する複数のサブパルスを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記第1のRFサブパルス列中のRFサブパルスは全て、同一の持続時間を有する、請求項1に記載の方法。

10

【請求項4】

前記第1および第2のRFサブパルス列は、ほぼ同一の持続時間を有する、請求項1に記載の方法。

【請求項5】

前記第1および第2のRFサブパルス列は、同一のサブパルス数をその中に有する、請求項4に記載の方法。

【請求項6】

前記第1のRFサブパルス列中のRFサブパルスは、第1の持続時間を有し、前記第2のRFサブパルス列中のRFサブパルスは、第2の持続時間を有し、前記第2の持続時間は、前記第1の持続時間より長い、請求項5に記載の方法。

20

【請求項7】

前記第1のRFサブパルス列は、第1の持続時間を有する初期サブパルスに続き、それぞれが第2の持続時間を有する複数のサブパルスを含み、前記第2のRFサブパルス列は、第3の持続時間を有する初期サブパルスに続き、それぞれが第4の持続時間を有する複数のサブパルスを含み、前記第3の持続時間は、前記第1の持続時間より長く、前記第4の持続時間は、前記第2の持続時間より長い、請求項5に記載の方法。

【請求項8】

前記第1および第2のRFサブパルス列中のRFサブパルスの持続時間は、同一であり、前記第2のサブパルス列中のサブパルス数は、前記第1のサブパルス列中のサブパルス数より多い、請求項4に記載の方法。

30

【請求項9】

前記第2のRFサブパルス列中のRFサブパルスの数または持続時間の選択は、前記第1のレーザ出力パルスの終了と前記第2のレーザ出力パルスの開始との間の時間に依存する、請求項1に記載の方法。

【請求項10】

ガス放電レーザ装置であって、

離間された放電電極と、

前記放電電極間に延在するレーザ共振器と、

前記レーザ共振器を励起するために、前記放電電極に接続された無線周波電力供給源(RFPS)と、

40

前記RFPSに接続された電子回路であって、前記電子回路は、第1のコマンドパルスを受信し、前記コマンドパルスを第1のコマンドサブパルス列に変換し、前記第1のコマンドサブパルス列を前記RFPSに送達し、それによって、前記RFPSに、第1の励起サブパルス列が単一RF励起パルスであるかのように、前記レーザ共振器が前記第1の励起サブパルス列にตอบสนองするほど十分に短い前記RF励起サブパルス間の時間的間隔を伴って、対応する第1のRF励起サブパルス列を前記レーザ共振器に送達させるように構成および配列され、それによって、前記レーザ共振器は、前記第1のRF励起サブパルス列による励起にตอบสนองして、第1の単一レーザ出力パルスを送達し、前記電子回路はさらに、前記第1のコマンドパルスの受信に続いて、第2のコマンドパルスを受信し、前記第1のコ

50

マンドパルスの終了と前記第 2 のコマンドパルスの開始との間の時間を判定し、前記第 2 のコマンドパルスを第 2 のコマンドサブパルス列に変換し、前記第 2 のコマンドサブパルス列を前記 R F P S に送達し、それによって、前記 R F P S に、第 2 の励起サブパルス列が単一 R F 励起パルスであるかのように、前記レーザ共振器が前記第 2 の励起サブパルス列に  
10 応答するほど十分に短い前記 R F 励起サブパルス間の時間的間隔を伴って、対応する第 2 の R F 励起サブパルス列を前記レーザ共振器に送達させるように構成および配列され、それによって、前記レーザ共振器は、前記第 2 の R F 励起サブパルス列による励起に  
20 応答して、第 2 の単一レーザ出力パルスを送達し、前記第 2 のコマンドサブパルス列と、それに対応した前記第 2 の R F 励起サブパルス列との中のサブパルスの数および持続時間のうちの 1 つは、前記第 1 のコマンドパルスの終了と前記第 2 のコマンドパルスの開始との  
30 間の前記判定された時間に基づいて、前記第 2 のレーザパルス中のエネルギーが前記第 1 のレーザパルス中のエネルギーにより密接に一致するように選択される、電子回路と  
を備える、装置。

【請求項 1 1】

ガスレーザを動作させる方法であって、前記レーザは、電極を含み、前記電極は、前記電極間でガスを励起させるために、無線周波 ( R F ) 電力供給源に接続されており、

前記方法は、

第 1 のレーザパルスを產生するために、第 1 のコマンドを生成するステップと、

第 1 のレーザパルスを產生するための前記第 1 のコマンドに  
20 応答して、R F 電力の第 1 のエンベロープを前記電極に送達するステップであって、前記第 1 のエンベロープは、第 1 のサブパルス列を含み、前記列中の各サブパルスは、複数のサイクルの R F エネルギーを含む、ステップと、

第 2 のレーザパルスを產生するための第 2 のコマンドを生成するステップと、

第 2 のレーザパルスを產生するための前記第 2 のコマンドに  
30 応答して、R F 電力の第 2 のエンベロープを前記電極に送達するステップであって、前記第 1 および第 2 のエンベロープは、ほぼ同一の持続時間を有し、前記第 2 のエンベロープは、第 2 のサブパルス列を含み、前記列中の各サブパルスは、複数のサイクルの R F エネルギーを含み、前記第 1 のレーザパルスを產生するための前記第 1 のコマンドの終了と前記第 2 のレーザパルスを產生するための前記第 2 のコマンドの開始との間の時間  
40 が所定の周期より短い場合、前記第 2 のレーザパルス中のエネルギーが前記第 1 のレーザパルス中のエネルギーにより密接に一致するように、前記第 2 のパルス列中のサブパルスのデューティサイクルを増加させる、  
ステップと

を含む、方法。

【請求項 1 2】

前記第 2 のサブパルス列におけるデューティサイクルは、前記第 1 のレーザパルスの終了と前記第 2 のレーザパルスを產生するための前記第 2 のコマンドの生成との間の時間に  
50 逆比例する量だけ増加される、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記所定の周期は、前記第 1 および第 2 のサブパルス列のデューティサイクルが不変の  
60 ままである場合、前記第 2 のレーザパルスが依然として前記第 1 のレーザパルスとほぼ同一のエネルギーを有する最短時間に対応する、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記第 2 のサブパルス列のデューティサイクルは、前記第 2 のパルス列中のサブパルス  
70 数を増加させることによって増加される、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記第 2 のサブパルス列のデューティサイクルは、前記第 2 のパルス列中のサブパルスの  
80 長さを増加させることによって増加される、請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 6】

各パルス列中の第 1 のサブパルスは、前記列中のサブパルスの残りより長い、請求項 1  
90 1 に記載の方法。

10

20

30

40

50

## 【請求項 17】

前記レーザパルスは、孔をワークピース内に穿孔するために使用される、請求項 11 に記載の方法。

## 【請求項 18】

前記レーザパルスは、ビア孔を印刷基板内に穿孔するために使用される、請求項 11 に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、一般に、無線周波（RF）励起式パルス状二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）ガス放電レーザにおける出力電力制御に関する。本発明は、特に、あるレーザ出力パルスから次のレーザ出力パルスへと一定電力を提供し、また、そのようなレーザの出力パルスの時間的形狀を制御することに関する。

10

## 【背景技術】

## 【0002】

RF 励起式密閉拡散冷却パルス状 CO<sub>2</sub> ガス放電レーザでは、パルス間の時間が、十分に短い場合、拡散冷却が、抑えられ、CO<sub>2</sub> レーザ発振ガス混合物中に温度上昇をもたらし得る。これは、出力パルスの特性、特に、出力パルスの上昇および降下に影響を及ぼし得る。これは、パルス毎の電力の非一貫性、故に、平均電力のばらつきにつながり得る。典型的レーザ発振ガス混合物は、約 80 : 10 : 10 の割合において、ヘリウム（He）

20

## 【0003】

図 1 A および図 1 B は、先行技術の拡散冷却 CO<sub>2</sub> ガス放電レーザを励起させる RF パルス（図 1 A）と、レーザから結果として生じるレーザ出力パルス（図 1 B）との間の関係を比較するタイミング図を提供する。レーザは、約 10 . 6 マイクロメートル（μm）の波長で動作（レーザ発振）するように同調されると仮定される。RF パルスは、時間 t<sub>0</sub> において開始され、時間 t<sub>3</sub> において終了される。ここに描写されるように、RF パルスは、約 100 マイクロ秒以上の持続時間を有する。

## 【0004】

最初は、レーザ出力は存在しないが、時間の経過に伴って、レーザ発振ガス混合物中の N<sub>2</sub> が、RF によって励起され、次いで、衝突によって、そのエネルギーが CO<sub>2</sub> に移送される。比較的短時間後、レーザ発振ガス混合物中に初期利得スパイク（電力スパイク）が現れ、時間 t<sub>1</sub> において、ほぼゼロに降下する。非常に短い持続時間のため、本電力スパイク中のエネルギーは、プロセスの観点から有意ではない。電力スパイクに続いて、レーザ出力電力は、徐々に上昇する。本電力上昇周期は、図 1 B では、 $T_R$  として指定される。本時間の間、ガス混合物の温度は、上昇し、時間 t<sub>2</sub> において、（レーザが同調される 10 . 6 μm CO<sub>2</sub> 波長における）利得は、10 . 6 μm 波長および（レーザ共振器が同調されないと仮定される）約 9 . 6 μm における別のレーザ発振波長に対するエネルギー遷移間の競合の結果、徐々に降下し始める。利得低減の物理特性の詳細な説明は、本発明の原理を理解するために必要ではなく、本明細書には提示されない。レーザ発振ガス混合物の加熱による 10 . 6 μm 電力の徐々に降下する本周期は、図 1 B では、周期  $T_H$  として指定される。時間 t<sub>3</sub> において、RF パルスが終了されると、利得、故に、レーザパルス電力は、図 1 B では、周期  $T_F$  として指定される降下時間にかけて、ゼロに向かって指数関数的に降下する。

30

40

## 【0005】

パルス RF パルス持続時間が、十分に短くされる場合、図 1 B に描写されるような個々のレーザパルスにおけるガス加熱効果は、回避され得る。しかしながら、パルス間に十分に短い持続時間を伴うレーザパルス列では、ガス加熱は、依然として、生じるが、効果は、以下に論じられる異なる方法で現れる。

## 【0006】

50

図 2 A および図 2 B は、3つの RF パルス列  $A_{RF}$ 、 $B_{RF}$ 、および  $C_{RF}$  (図 2 A) と、それぞれ、結果として生じるレーザ出力パルス  $A_L$ 、 $B_L$ 、および  $C_L$  との間の関係を比較する、タイミング図を提供する。ここでは、RF パルスは、パルス約 0.15 ミリ秒 (ms) 間に時間 T を提供するパルス繰り返し周波数 F で送達されると仮定される。パルス持続時間 ( $T_p$ ) は、約 25 マイクロ秒 ( $\mu s$ ) であると仮定される。本パルス持続時間は、図 1 B の  $t_H$  効果が回避されるほど十分に短い。しかしながら、パルス間の時間は、レーザ発振ガスが、次のパルスが開始される前に、あるパルスが開始される温度に戻らないほど十分に短い。この結果、パルス  $B_L$  のピーク電力  $P_{L2}$  は、パルス  $A_L$  のピーク電力  $P_{L1}$  未満であって、パルス  $C_L$  のピーク電力  $P_{L3}$  は、パルス  $B_L$  のピーク電力  $P_{L2}$  未満である。あるパルスから次のパルスへの本ピーク電力低減は、定常状態ガス加熱条件に達するまで継続する。パルス間の例示的 0.15 ms および約 100 トルのレーザ発振ガス圧力の場合、これは、約 7 パルスが送達されるまで生じ得ることはない。

#### 【0007】

図 3 は、従来技術の拡散冷却  $CO_2$  レーザ中のパルス間の時間の関数として、隔離されたレーザ出力パルス対間の測定された振幅比 (菱形によって示される) を図式的に図示するグラフである。円形は、3 キロヘルツ (kHz) のパルス繰り返し周波数に対応する、パルス分離時間を示す。この場合の RF パルス持続時間 (励起パルス) は、約 25  $\mu s$  であったが、類似結果は、50  $\mu s$  の持続時間を有する RF パルスでも得られた。連続パルスの振幅は、パルス間の時間が、約 750 ~ 1000 マイクロ秒以上であるとき、ほぼ等しくなることが分かる。

#### 【0008】

印刷基板 (PCB) におけるビア孔のレーザ穿孔等の繊細なレーザ機械加工動作のために、パルス間の一貫性を維持することは、非常に重要である。パルスの非一貫性の発現は、使用され得るパルス繰り返し率の上限、故に、動作の処理量の限界を定義することになる。ほとんどの場合、定常状態条件は、特定の穿孔シーケンスが、不規則な間隔において、要望に応じたパルスを要求するため、選択肢とならない。故に、その間に比較的短い間隔を伴って、要望に応じてトリガされるレーザ出力パルスのパルス間の一貫性を維持することができる、方法および装置の必要がある。

#### 【発明の概要】

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0009】

本発明は、レーザ出力パルスの形態においてレーザ出力を提供するためのガス放電レーザを動作させる方法を対象とする。レーザは、無線周波電力供給源 (RFPS) によって給電される、離間されたガス放電電極とともに、放電電極間に形成されるレーザ共振器を含む。

#### 【0010】

本発明の一側面では、本方法は、レーザ共振器を励起するために、RFPS からガス放電電極に第 1 の RF パルス列を送達するステップを含む。その第 1 の列中の RF パルスは、第 1 の RF パルス列が単一 RF パルスであるかのように、レーザ共振器が第 1 の RF パルス列に応答するほど十分に短い時間だけ時間的に離間され、それによって、レーザ共振器は、第 1 の RF パルス列による励起に応答して、第 1 のレーザ出力パルスを送達する。

#### 【0011】

別の側面では、本方法はさらに、第 1 の RF パルス列の送達に続いて、レーザ共振器を励起させるために、RFPS からガス放電電極に第 2 の RF パルス列を送達するステップを含んでもよい。第 2 の RF パルス列中の RF パルスはまた、第 2 の RF パルス列が単一 RF パルスであるかのように、レーザ共振器が第 2 の RF パルス列に応答するほど十分に短い時間だけ時間的に離間され、それによって、第 1 の単一レーザ出力パルスの送達に続いて、レーザ共振器は、第 2 の RF パルス列による励起に応答して、第 2 のレーザ出力パルスを送達する。その第 2 の列中の RF パルスの持続時間および数のうちの 1 つは、第 1 および第 2 のレーザ出力パルスがほぼ等しい電力を有するように選択される。

例えば、本願発明は以下の項目を提供する。

(項目 1)

レーザ出力パルスの形態においてレーザ出力を提供するためのガス放電レーザを動作させる方法であって、前記レーザは、無線周波電力供給源 ( R F P S ) によって給電される、離間されたガス放電電極とともに、前記放電電極間に形成されるレーザ共振器を含み、  
前記方法は、

前記レーザ共振器を励起するために、前記 R F P S から前記ガス放電電極に第 1 の R F パルス列を送達するステップであって、前記列中の各パルスは、複数のサイクルの R F エネルギーを含み、前記第 1 の R F パルス列内の R F パルスは、前記第 1 の R F パルス列が単一 R F パルスであるかのように、前記レーザ共振器が前記第 1 の R F パルス列に  
10 応答するほど十分に短い時間だけ時間的に離間され、それによって、前記レーザ共振器は、前記第 1 の R F パルス列による励起に  
20 応答して、第 1 のレーザ出力パルスを送達する、ステップ

を含む、方法。

(項目 2)

前記第 1 の R F パルス列は、第 1 の持続時間を有する初期パルスに続いて、前記第 1 の持続時間より短い第 2 の持続時間を有する複数のパルスを含む、項目 1 に記載の方法。

(項目 3)

その前記第 1 の列中の R F パルスは全て、同一の持続時間を有する、項目 1 に記載の方法。

(項目 4)

前記第 1 の R F パルス列の送達に続いて、前記レーザ共振器を励起させるために、前記 R F P S から前記ガス放電電極に第 2 の R F パルス列を送達するステップであって、前記第 2 の列中の各パルスは、複数のサイクルの R F エネルギーを含み、前記第 2 の R F パルス列中の R F パルスは、前記第 2 の R F パルス列が、単一 R F パルスであるかのように、前記レーザ共振器が前記第 2 の R F パルス列に  
30 応答するほど十分に短い時間だけ時間的に離間され、それによって、前記第 1 の単一レーザ出力パルスの送達に続いて、前記レーザ共振器は、前記第 2 の R F パルス列による励起に  
40 応答して、第 2 のレーザ出力パルスを送達し、その前記第 2 の列中の R F パルスの持続時間および数のうちの 1 つは、前記第 1 および第 2 のレーザ出力パルスがほぼ等しい電力を有するように選択される、ステップ

をさらに含む、項目 1 に記載の方法。

(項目 5)

前記第 1 および第 2 の R F パルス列は、ほぼ同一の持続時間を有する、項目 4 に記載の方法。

(項目 6)

前記第 1 および第 2 の R F パルス列は、同一のパルス数をその中に有する、項目 5 に記載の方法。

(項目 7)

その前記第 1 の列中の R F パルスは、第 1 の持続時間を有し、その前記第 2 の列中の R F パルスは、第 2 の持続時間を有し、前記第 2 の持続時間は、前記第 1 の持続時間より長い、項目 6 に記載の方法。

(項目 8)

前記第 1 の R F パルス列は、第 1 の持続時間を有する初期パルスに続き、それぞれ、第 2 の持続時間を有する複数のパルスを含み、第 2 の R F パルス列は、第 3 の持続時間を有する初期パルスに続き、それぞれ、第 4 の持続時間を有する複数のパルスを含み、前記第 3 の持続時間は、前記第 1 の持続時間より長く、前記第 4 の持続時間は、前記第 2 の持続時間より長い、項目 6 に記載の方法。

(項目 9)

その前記第 1 および第 2 の列中の R F パルスの持続時間は、同一であり、その前記第 2 の列中のパルス数は、その前記第 1 の列中のパルス数より多い、項目 5 に記載の方法。

10

20

30

40

50

(項目 10)

その前記第 2 の列中の R F パルスの数または持続時間の選択は、前記第 1 のレーザ出力パルスの終了と前記第 2 のレーザ出力パルスの開始との間の時間に依存する、項目 4 に記載の方法。

(項目 11)

ガス放電レーザ装置であって、  
離間された放電電極と、  
前記放電電極間に延在するレーザ共振器と、  
前記レーザ共振器を励起するために、前記放電電極に接続された無線周波電力供給源 ( R F P S ) と、

10

前記 R F P S に接続された電子回路であって、前記電子回路は、第 1 のコマンドパルスを受信し、前記コマンドパルスを第 1 のコマンドパルス列に変換し、前記第 1 のコマンドパルス列を前記 R F P S に送達し、それによって、前記 R F P S に、第 1 の励起パルス列が単一 R F 励起パルスであるかのように、前記レーザ共振器が前記第 1 の励起パルス列に  
応答するほど十分に短い前記 R F 励起パルス間の時間的間隔を伴って、対応する第 1 の R F 励起パルス列を前記レーザ共振器に送達させるように構成および配列され、それによって、前記レーザ共振器は、前記第 1 の R F 励起パルス列による励起に  
応答して、第 1 の単一レーザ出力パルスを送達する、電子回路と

を備える、装置。

(項目 12)

20

前記電子回路はさらに、前記第 1 のコマンドパルスの受信に続いて、第 2 のコマンドパルスを受信し、前記第 1 のコマンドパルスの終了と前記第 2 のコマンドパルスの開始との間の時間を判定し、前記第 2 のコマンドパルスを第 2 のコマンドパルス列に変換し、前記第 2 のコマンドパルス列を前記 R F P S に送達し、それによって、前記 R F P S に、第 2 の励起パルス列が、単一 R F 励起パルスであるかのように、前記レーザ共振器が前記第 2 の励起パルス列に  
応答するほど十分に短い前記 R F 励起パルス間の時間的間隔を伴って、対応する第 2 の R F 励起パルス列を前記レーザ共振器に送達させるように構成および配列され、それによって、前記レーザ共振器は、前記第 2 の R F 励起パルス列による励起に  
応答して、第 2 の単一レーザ出力パルスを送達し、前記第 2 のコマンドパルス列中と、それに対応して、前記第 2 の R F 励起パルス列中のパルスの数および持続時間のうちの 1 つは、前記第 1 のコマンドパルスの終了と前記第 2 のコマンドパルスの開始との間の前記判定された時間に基づいて、前記第 1 および第 2 のレーザ出力パルスが、ほぼ等しい電力を有するように選択される、項目 11 に記載の装置。

30

(項目 13)

ガスレーザを動作させる方法であって、前記レーザは、電極間でガスを励起させるために、無線周波 ( R F ) 電力供給源に接続された電極を含み、

前記方法は、

第 1 のレーザパルスを產生するために、コマンドを生成するステップと、

第 1 のレーザパルスを產生するための前記コマンドに  
応答して、R F 電力の第 1 のエンベロープを前記電極に送達し、前記第 1 のエンベロープは、第 1 のパルス列を含み、前記列中の各パルスは、複数のサイクルの R F エネルギーを含む、ステップと、

40

第 2 のレーザパルスを產生するためのコマンドを生成するステップと、

第 2 のレーザパルスを產生するための前記コマンドに  
応答して、R F 電力の第 2 のエンベロープを前記電極に送達し、前記第 1 および第 2 のエンベロープは、ほぼ同一の持続時間を有し、前記第 2 のエンベロープは、第 2 のパルス列を含み、前記列中の各パルスは、複数のサイクルの R F エネルギーを含む、前記第 2 のレーザパルスを產生するための前記第 1 のレーザパルスの終了と前記第 2 のコマンドの開始との間の時間が、所定の周期より短い場合、前記第 2 のレーザパルス中のエネルギーが、前記第 1 のレーザパルス中のエネルギーにより密接に一致するように、前記第 2 のパルス列中のパルスのデューティサイクルを増加させるステップと を含む、方法。

50

( 項目 1 4 )

前記第 2 のパルス列中のデューティサイクルは、前記第 1 のレーザパルスの終了と前記第 2 のレーザパルスを発生するための第 2 のコマンドの生成との間の時間に逆比例する量だけ増加される、項目 1 3 に記載の方法。

( 項目 1 5 )

前記所定の周期は、前記第 1 および第 2 のパルス列中のデューティサイクルが不変のままである場合、前記第 2 のレーザパルスは、依然として、前記第 1 のレーザパルスとほぼ同一のエネルギーを有するであろう、最短時間に対応する、項目 1 3 に記載の方法。

( 項目 1 6 )

前記第 2 のパルス列のデューティサイクルは、前記第 2 のパルス列中のパルス数を増加させることによって増加される、項目 1 3 に記載の方法。

10

( 項目 1 7 )

前記第 2 のパルス列のデューティサイクルは、前記第 2 のパルス列中のパルスの長さを増加させることによって増加される、項目 1 3 に記載の方法。

( 項目 1 8 )

各パルス列中の前記第 1 のパルスは、前記列中のパルスの残りより長い、項目 1 3 に記載の方法。

( 項目 1 9 )

前記レーザパルスは、孔をワークピース内に穿孔するために使用される、項目 1 3 に記載の方法。

20

( 項目 2 0 )

前記レーザパルスは、ビア孔を印刷基板内に穿孔するために使用される、項目 1 3 に記載の方法。

**【図面の簡単な説明】****【 0 0 1 2 】**

【図 1】図 1 A および図 1 B は、従来技術の拡散冷却  $\text{CO}_2$  レーザにおける R F パルスおよび対応するレーザ出力パルスの時間の関数としての電力間の関係を図式的に図示する、タイミング図を形成する。

【図 2】図 2 A および図 2 B は、従来技術の拡散冷却  $\text{CO}_2$  レーザにおける R F パルス列および対応するレーザ出力パルス列の時間の関数としての電力間の関係を図式的に図示する、タイミング図を形成し、ピークパルス電力は、R F パルスによるレーザ発振ガス加熱の結果として、あるパルスから次のパルスに低減される。

30

【図 3】図 3 は、従来技術の拡散冷却  $\text{CO}_2$  レーザにおけるパルス間の時間の関数としての隔離されたレーザ出力パルス対間の測定された振幅比を図式的に図示する、グラフである。

【図 4】図 4 A は、対応するレーザ出力パルスにおいて、図 2 B のピーク電力低減を生じさせるほど、その間に十分に短い時間を有すると仮定される、第 1 および第 2 の連続する従来技術の R F 励起パルスを図式的に図示する、グラフである。図 4 B は、本発明による、パルス内変調を図式的に図示する、グラフであって、図 4 A の従来技術のレーザパルスは、同様に、等しい持続時間であるが、第 1 の列より第 2 の列中により短いパルスを含めることによって、第 2 のより短いパルス列のパルス繰り返し周波数が増加され、図 2 B のピーク電力低減効果を補償する、より短いパルスの連続する第 1 および第 2 の等しい持続時間列と置換される。図 4 C は、本発明による、パルス内変調を図式的に図示する、グラフであって、図 4 A の従来技術のレーザパルスは、各列中に同一のパルス数を伴うが、第 2 の列中のパルスは、第 1 の列中のパルスより長い持続時間を有し、図 2 B のピーク電力低減効果を補償する、より短いパルスの連続する第 1 および第 2 の等しい持続時間列と置換される。図 4 D は、本発明による、パルス内変調を図式的に図示する、グラフであって、図 4 C の方式に類似するが、その各列中の第 1 のパルスは、パルス列によって生成される対応するレーザパルスの上昇時間を低下させるために、その列中の他のパルスより長い持続時間を有する。

40

50



【図5】図5は、図4Dのパルス列に類似するが、より長い第1のサブパルスに続いて、12のサブパルスが存在する、25マイクロ秒長のRFパルス列によって生成される測定されたレーザパルスを図式的に図示する、オシロスコープトレースの複製である。

【図6】図6は、図5のレーザパルスの生成のために使用される実験装置を図式的に図示する、高レベル回路図である。

【図7】図7は、本発明による、パルス内変調によってパルス電力制御を実装するための回路の一実施例を図式的に図示する、高レベル回路図である。

【図7A】図7Aは、図7の回路を組み込む、ガス放電レーザを図式的に図示する。

【図8】図8A、8B、8C、および8Dは、図7の回路内のある動作モードを図式的に図示する、グラフである。

10

【発明を実施するための形態】

【0013】

図4B、4C、および4Dは、本発明による、RF励起パルスのパルス間変調の3つの異なる実施形態を図式的に図示する。図4Aは、図4B-Dとの比較のために提供され、第1および第2の連続する非変調（従来技術の）RFパルスP1およびP2を図式的に図示し、図4B-Dの変調パルス列と比較され得る。図4Aでは、従来技術の非変調パルスはそれぞれ、同一の持続時間 $T_A$ を有する。パルスP1の終了とパルスP2の開始との間には、時間 $T_B$ が存在する。パルス繰り返し周期は、 $1 / (T_A + T_B)$ のPRFに相当する $T_A + T_B$ である。 $T_A$ の好ましい値は、約25 $\mu s$  ~ 約50 $\mu s$ である。 $T_B$ の好ましい値は、約200 $\mu s$ 以上である。

20

【0014】

本説明の目的のために、時間 $T_B$ は、レーザ出力パルスの電力が、直前のパルスの生成の間の前述のガス加熱によって低減される、約750 $\mu s$ 以下の範囲内であると仮定される（図3参照）。図3に描写されるように、パルス間周期 $T_B$ の関数として、連続するパルスの測定された電力比を表化することによって、ルックアップテーブルが形成されると仮定される。

【0015】

本発明のパルス間変調方式では、その全実施形態において、先行技術の非変調（連続）パルスは、列が単一連続パルスであるかのように、レーザがパルス列に応答するほど十分に短いサブパルス間の時間を伴う、サブパルスのバーストまたは列によって置換される。これが生じるために、サブパルスのパルス間周期は、約1 $\mu s$ であるべきである。パルス列は、正方変調エンベロープおよび100%変調深度を伴うパルス列の持続時間を有する、変調パルスと見なされ得る。これは、パルス幅変調またはPRF変動によって、そのように変調されたパルス中の電力を便宜的に変動させることをもたらす。

30

【0016】

図4Bの実施形態では、図4Aの連続パルスP1は、等しい振幅の5つのサブパルス列 $PT_A$ によって置換される。パルスは全て、 $100 * T_D / (T_D + T_E)$ のパルス列の変調のためのパーセントデューティサイクルに対して、同一の（サブパルスオン）持続時間 $T_D$ および同一のパルス間（サブパルスオフ）周期 $T_E$ を有する。実験的に判定されたルックアップテーブルおよび $T_B$ の知識から、連続するパルス列によって生成される連続するレーザパルスが同一の電力を有するように、どれだけの付加的電力が連続するパルス列 $PT_B$ （列 $PT_A$ と同一の持続時間を有する）中になければならないかが判定される。ここでは、 $PT_B$ は、対応するレーザパルスが等しい電力を有するために、 $PT_A$ の電力の1.2倍を有していなければならないと仮定される。これを達成するために、 $PT_B$ は、 $PT_A$ のサブパルスと同一の持続時間および振幅ならびに列の持続時間を有する、6つのサブパルス列となる。これは、余剰サブパルスを提供し、効果的に、 $PT_B$ のデューティサイクルを1.2倍（有理分数の観点では、6/5）増加させることによって、列中に付加的電力を提供する。

40

【0017】

図4Cの実施形態では、図4Aの連続パルスP1は、再び、前述のように、等しい振幅

50

および持続時間の5つのサブパルス列 $PT_A$ によって置換される。第2のパルス列 $PT_C$ は、列 $PT_A$ 中と同一のPRFにおいて、同一のサブパルス数を有するが、 $PT_C$ 中のサブパルスの持続時間(時間的「幅」)は、レーザパルス電力を一定に保つために、1.2倍増加され、付加的RF電力を提供する。再び、 $PT_C$ の持続時間は、 $PT_A$ と同一であるため、 $PT_C$ におけるデューティサイクルは、 $PT_A$ の1.2倍である。

#### 【0018】

図4Dの実施形態では、パルスP1は、列の持続時間と比較して比較的に長い、例えば、列の持続時間の約半分長い、持続時間 $T_G$ を有する初期サブパルスSP1を含む、パルス列 $PT_D$ によって置換される。残りのサブパルスは、図4Bおよび4Cの実施形態におけるサブパルスパルスの持続時間およびデューティサイクルに匹敵する持続時間およびデューティサイクルを有する。ここでは、サブパルスは、持続時間 $T_D$ を有するように指定される。

#### 【0019】

比較的に長いサブパルスを伴う列 $PT_D$ から開始する理由は、対応するレーザパルスの前縁における電力を増加させ、図2Bの「ピーク状」パルスと比較して、「正方形」または「長方形」の時間的形狀をレーザパルスに提供するためである。そのような「正方形」または「長方形」パルスは、あるレーザ処理動作において望ましい。本パルス内変調方式は、レーザ出力パルスの時間的分離が、同一の変調が後続パルスに印加され得るほど十分に長い場合でも有用である。しかしながら、補正が要求される場合、これは、次の励起パルス列中の全サブパルスの持続時間を比例して増加させることによって提供されることが

#### 【0020】

ここで、図4A-Dに図式的に描写されるパルスおよびサブパルスは、実際には、電力供給源のRF周波数発振のエンベロープ(図示せず)であることに留意されたい。本RF周波数は、典型的には、約100メガヘルツ(MHz)、すなわち、発振周期は、約0.01 $\mu$ sである。

#### 【0021】

図5は、65%のデューティサイクルで送達される、13 $\mu$ sの持続時間を有する初期サブパルスに続いて、12のサブパルスから成る、25マイクロ秒長のRFパルス列によって生成される測定されたレーザパルスを図式的に図示する、オシロスコープトレースの複製である。パルス開始時の前述の「利得スパイク」効果は、明らかに明白であって、実質的である。パルスの「平坦」部分の見掛け変調は、パルス測定のために使用される検出器における電子雑音または「リングング」であって、実際には、レーザパルス中には存在しない。これは、変調されたRFパルス列に対するレーザ応答ではない。

#### 【0022】

図5のパルスを生成するために使用される実験装置100は、図6に図式的に図示される。パルス遅延発生器102が、それぞれ、端子AおよびBから2つの同期パルス104および106を生成するために使用された。パルス持続時間およびパルスの分離は、調節可能である。遅延発生器は、Stanford Research Systems Inc. (Sunnyvale, California) 製モデルDG535発生器であった。パルス104は、パルス106より早期に放出される。端子Aからのパルスの持続時間は、パルス列中の初期長サブパルスの所望の持続時間(図4Dにおける列 $PT_D$ の観点における持続時間 $T_G$ )となるように選択された。

#### 【0023】

パルス106は、関数発生器100をトリガするために使用される。使用された関数発生器は、Agilent Inc (Sunnyvale, California) から利用可能なモデル番号33220A関数発生器であった。関数発生器は、 $T_G$ より短い持続時間(図4Dにおける列 $PT_D$ の観点における持続時間 $T_D$ )を有するパルス列(ここでは、3つのパルス)を放出するように調節された。持続時間 $T_D$ ならびにパルス列の選

定されたデューティサイクルおよび持続時間は、パルス内持続時間（図４Ｄにおける列  $P T_D$  の観点における持続時間  $T_E$ ）を決定する。パルス列は、 $t_0$  後の時間  $T_G + T_E$  において、パルス１０６によってトリガされ、図５においてパルス列１１２として現れる。パルス１０４およびパルス列１１２は、反対に接続されたダイオード１０８および１１４に接続される。パルス列は、ダイオード間のノード１１６において加算され、パルス列１１８（図４Ｄにおけるパルス列  $P T_D$  に相当する）を提供し、これは、レーザの放電電極に接続された  $R F P S 120$  からの  $R F$  パルスを命令するために使用される。

#### 【００２４】

ここで、図６の実験回路は、単に、レーザ出力パルスを「平方化」するために、図４Ｄに描写されるタイプの変調されたパルス（パルス列）を形成することが可能であることに留意されたい。回路は、図４Ｂ－Ｄのモードのいずれかにおいて、本発明のパルス内変調によってパルス間出力電力制御を実装するためのいかなる規定も有していない。

#### 【００２５】

図７は、本発明による、パルス内変調によるパルス間パルス電力制御を実装するための回路の一実施例を図式的に図示する、高レベル回路図１３０である。回路の説明は、図８Ａ、８Ｂ、８Ｃ、および８Ｄに加え、図４Ａおよび図４Ｄを参照して、以下に説明される。本説明では、図４Ｄに描写される「平方化」タイプのサブパルス列、例えば、サブパルス列  $P T_D$  が、既に生成されていると仮定する。

#### 【００２６】

端子１３２において、ユーザ提供（ＰＣ、マイクロプロセッサ、または同等物から）パルスコマンド１３４が、提供される。コマンド１３４は、前に送達された図４Ａのパルス  $P 1$  に対応する類似コマンドを伴う、図４Ａの従来技術の（非変調）パルス  $P 2$  に等しくあり得る。パルス１３４は、ノード１３６において分割され、ある部分は、ＡＮＤゲート１３８のある入力に接続され、別の部分は、オフ時間測定回路１４０に接続され、別の部分は、前述のように、パルス列デューティサイクルに対するパルスコマンド間のデータ関連時間を含むルックアップテーブル（ＬＵＴ）を含む、勾配発生器１４２に接続される。コマンドパルスのさらに別の部分は、高周波パルス発生器１４４および起動タイマ１４６の両方に接続される。コマンドパルス１３４の持続時間は、コマンドに対応するサブパルス列、例えば、図４Ｄのサブパルス列  $P T_E$  の持続時間を決定する。

#### 【００２７】

オフ時間測定回路１４０は、前のパルスコマンドの終了以降の経過した時間  $t_{off}$  を測定する。これは、回路１４２に伝送され、記憶されたＬＵＴからデューティサイクル値を判定する。デューティサイクル値は、送達されるべきサブパルス列（図４Ｄの  $P T_E$ ）中の電力と前のサブパルス列（図４Ｄの  $P T_D$ ）によって送達されたその電力とを等しくするために要求されるものである。要求されるデューティサイクル値は、高周波パルス発生器１４４に通信される。デューティサイクル値は、列中のサブパルスの  $P R F$  の要求される増加として（図４Ｂに描写されるように）、または列中のサブパルスの持続時間の増加として（図４Ｃおよび４Ｄ）、解釈される。いずれの方法が実装される場合でも、パルス発生器１４４は、コマンドパルス１３４の一部の受信に応答して、所望のサブパルス列中のパルスの選択された  $P R F$ 、またはそのパルス間周期に対応する持続時間を有する、立ち下りパルス列１４８（要求されるサブパルスに対応する）を放出する。

#### 【００２８】

コマンドパルス１３４の一部の受信に応答して、起動タイマ１４６は、サブパルス列中の延長初期パルスに対応する持続時間を有する、立ち上りパルス１５０を生成する。パルス１５０の持続時間は、サブパルス列毎に一定である、または高周波パルス発生器１４４から中継される、ＬＵＴ１１０からのデューティサイクルまたはパルス持続時間データを使用して、パルス列毎に調節されることができる。立ち下りパルス列１４８およびパルス１５０は、ＯＲゲート１５２の別個の入力に接続される。いずれかのパルスからの信号が、ＯＲゲートの２つの入力のうちの一方に存在すると、ＡＮＤゲートの他方の入力への出力信号が、提供される。ＡＮＤゲートの出力は、図４Ｄのサブパルス  $P T_E$  に類似するサ

10

20

30

40

50

ブパルス列 1 5 4 である。本サブパルス列は、コマンドパルス 1 3 4 の立ち下りエッジによって終了され、これはまた、別のパルスコマンドを見込んで、パルス発生器 1 4 4 および起動タイマ 1 4 6 をリセットする。

【 0 0 2 9 】

図 7 A は、本発明による、ガス放電レーザ 1 6 0 内に組み込まれた図 7 A のコマンドパルス変調回路を図式的に図示する。回路 1 3 0 からのパルス列（変調されたコマンドパルス）1 5 4 は、R F P S 1 6 2 に送達される。変調されたコマンドパルスの受信に 응답して、R F P S は、対応する R F サブパルス列、すなわち、変調された R F パルスを、ライブまたは「ホット」電極 1 6 8 および接地電極 1 7 0 を含む、電極アセンブリ 1 6 6 に送達する。本列中のパルスは、励起パルスとして特徴付けられ得る。R F P S 1 6 2 は、インピーダンス整合ネットワークを含み、当技術分野において公知のように、R F P S の出力インピーダンスと電極のインピーダンスを整合させる。レーザ共振器（ここでは、不安定レーザ共振器）が、鏡 1 7 2 と 1 7 4 との間に形成される。電極および共振器は、同様に、当技術分野において公知のように、レーザ発振ガス混合物を含む、筐体（図示せず）内にある。前述のように、本発明の方法では、サブパルス間の時間は、サブパルス列が、連続パルスであるかのように、サブパルス列によって励起されたレーザ発振ガス混合物が応答するほど十分に短くされる。その結果、単一レーザ出力パルス 1 7 6 のみ、サブパルス列 1 6 4 による励起に 응답して、レーザ共振器によって送達される。

10

【 0 0 3 0 】

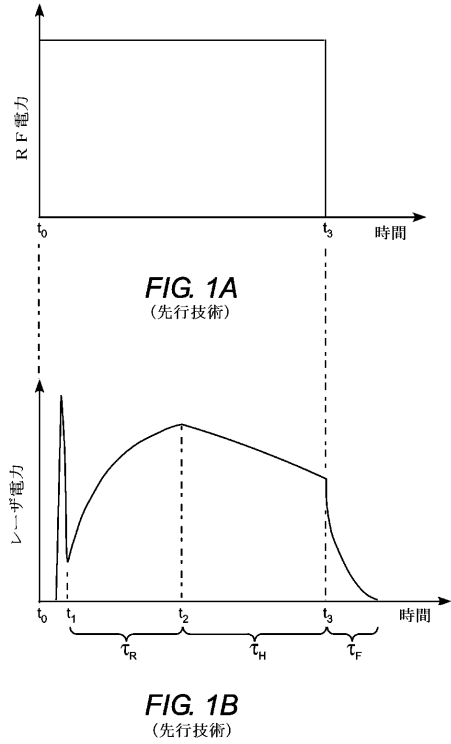
ここで、図 7 の回路実施例は、本発明のパルス内変調方法を実装するための回路の一実施例にすぎないことに留意されたい。本回路説明および本明細書に提示される本発明のパルス内変調方法の説明から、電子技術の当業者は、本発明の精神および範囲から逸脱することなく、本発明の方法を実装するための他の回路も考案し得る。

20

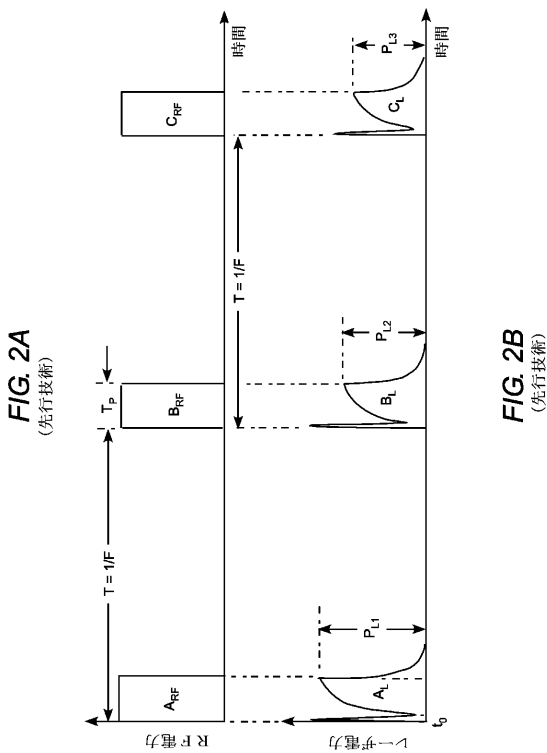
【 0 0 3 1 】

要するに、本発明は、本明細書では、好ましい実施形態および他の実施形態の観点から説明される。しかしながら、本発明は、本明細書に説明および描写される実施形態に限定されない。むしろ、本発明は、本明細書に添付の請求項によってのみ限定される。

【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】

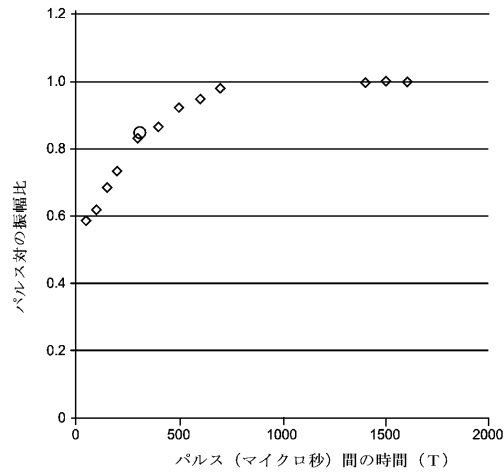
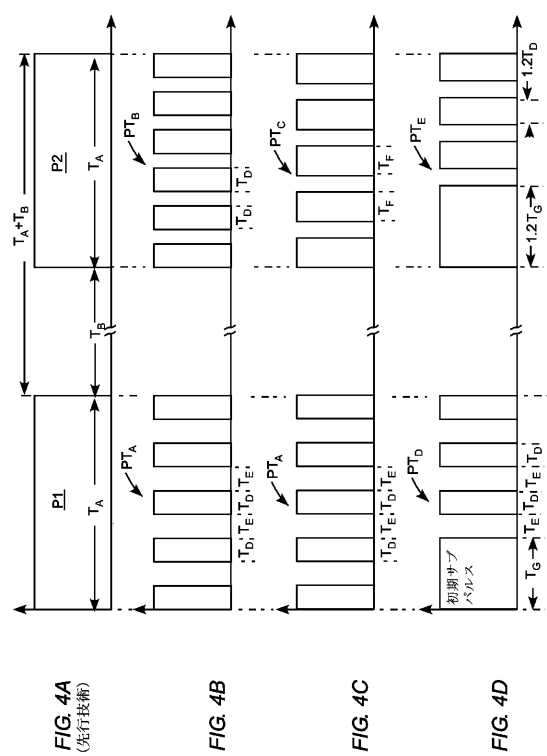
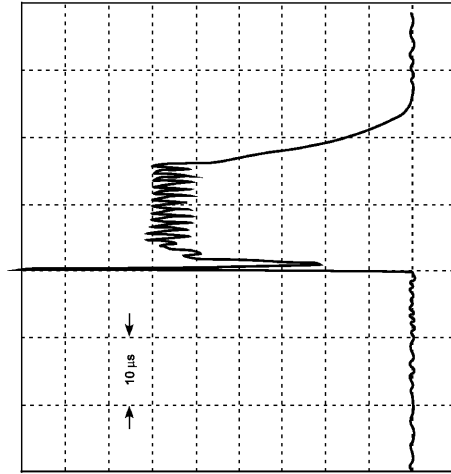


FIG. 3  
(先行技術)

【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】

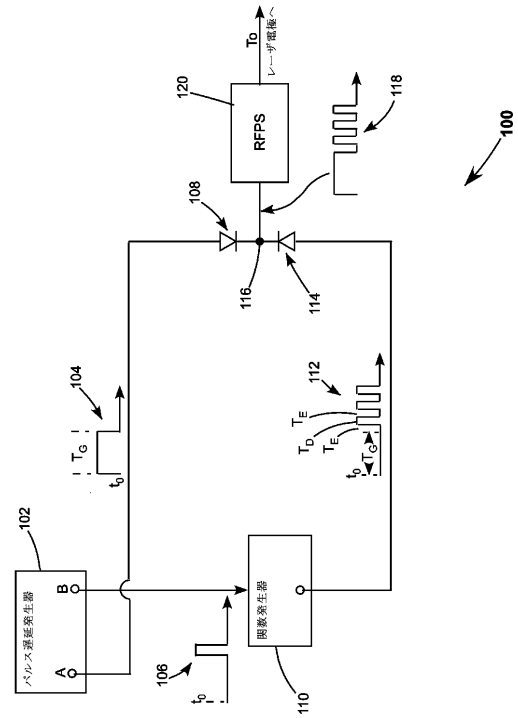
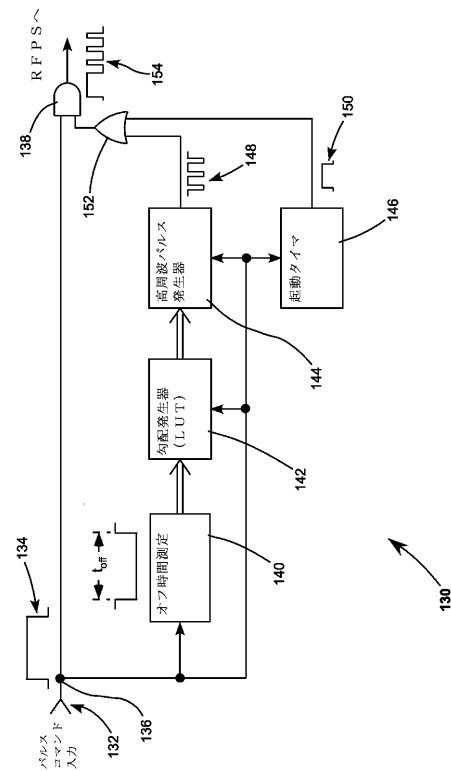
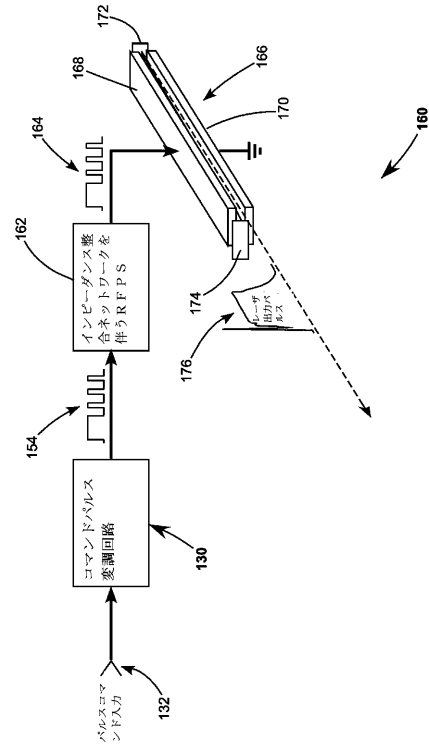


FIG. 6

【 図 7 】



【 図 7 A 】



【 図 8 】

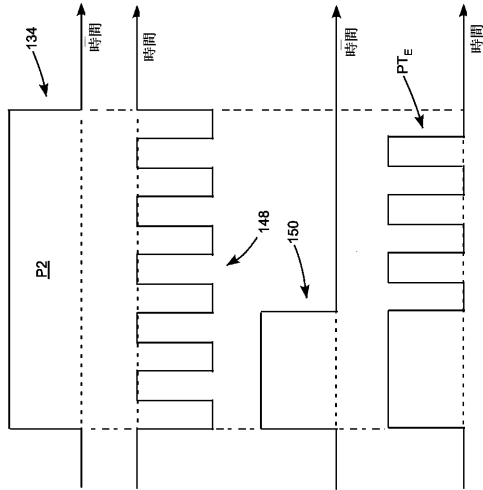


FIG. 8A

FIG. 8B

FIG. 8C

FIG. 8D

---

フロントページの続き

- (72)発明者 ローセントール, ピーター  
アメリカ合衆国 コネチカット 06092, ウェスト シムズベリー, ファームステッド  
レーン 10
- (72)発明者 ケネディー, ジョン  
アメリカ合衆国 コネチカット 06035, グランビー, ヘイルビュー ドライブ 4
- (72)発明者 シギーン, パーン  
アメリカ合衆国 コネチカット 06095, ウィンザー, デューイ アベニュー 42
- (72)発明者 アリー, デイビッド  
アメリカ合衆国 コネチカット 06268, ストーズ, シダー スワンプ ロード 31

審査官 島田 英昭

- (56)参考文献 特開2005-103625(JP,A)  
特開平06-114582(JP,A)  
特開昭57-186378(JP,A)  
特開2011-210704(JP,A)  
特表2010-516476(JP,A)  
国際公開第2011/046804(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01S3/00-3/30  
B23K26/382