

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第6238468号
(P6238468)

(45) 発行日 平成29年11月29日(2017.11.29)

(24) 登録日 平成29年11月10日(2017.11.10)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 S 3/098 (2006.01)

GO 2 F 1/05 (2006.01)

HO 1 S 3/098

GO 2 F 1/05 5 O 2

請求項の数 10 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2015-527033 (P2015-527033)	(73) 特許権者	515018714
(86) (22) 出願日	平成24年10月23日 (2012.10.23)		インテグレイテッド オプティックス、ウーアーバー
(65) 公表番号	特表2015-525003 (P2015-525003A)		リトアニア国、1 0 2 2 4 ヴィルニウス、ソーレテキオ アヴェニュー 1 5
(43) 公表日	平成27年8月27日 (2015.8.27)	(74) 代理人	100086461
(86) 国際出願番号	PCT/IB2012/055816		弁理士 齋藤 和則
(87) 国際公開番号	W02014/027227	(72) 発明者	ジョナスカ、ジョナース
(87) 国際公開日	平成26年2月20日 (2014.2.20)		リトアニア国、0 8 2 3 4 ヴィルニウス、ザッカスコ ストリート 1 7 - 9
審査請求日	平成27年9月11日 (2015.9.11)		
(31) 優先権主張番号	2012-074	審査官	金高 敏康
(32) 優先日	平成24年8月16日 (2012.8.16)		
(33) 優先権主張国	リトアニア (LT)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 キャビティダンピングおよび強制モード同期を使用するレーザ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザ装置であって、

- － 1 つの光共振器と
- － 1 つの利得媒質と、そして
- － 前記光共振器内のビームの偏光状態を変化させるための 1 つの電子－光学的スイッチまたは変調器と、

を少なくとも有し、

前記電子－光学的スイッチまたは変調器は、少なくともバイアス電圧と電圧振動の 2 つの状態を有する 1 つの電子信号により、前記状態の 1 つにおいて制御されるように構成される、レーザ装置において、

前記電圧振動が前記 2 つの状態の間のスイッチングの瞬間に自動的に開始され、そして 1 つの受動 LC 回路により画定されそして支持され、ここに前記 LC 回路は、前記 LC 回路の共振周波数に一致する周波数におけるリングング現象を通じて前記電圧振動を生成するように構成され、前記電子－光学的スイッチの全ての制御は 1 対の電極を介して実行される、

ことを特徴とするレーザ装置。

【請求項 2】

前記電子－光学的スイッチまたは変調器は 1 つの偏光子 (3) と組み合わされたポッケルスセル (2) であり、そして前記ポッケルスセル (2) は電圧振動を生成する前記 LC

回路の中でコンデンサとして働く、ことを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ装置。

【請求項 3】

前記 LC 回路のリング現象の前記電圧振動の周期は、本質的に前記光共振器内の 1 つの光パルスの往復時間に対する繰り返しである、ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のレーザ装置。

【請求項 4】

1 つの光共振器内に配置され、キロボルト領域の電圧信号をふくむ制御信号を 1 つの電子-光学的スイッチに提供するように構成された電子回路であって、

前記電子回路は高電圧電源が接続されるといつも起動されるように構成される 1 つの受動 LC 回路を有し、前記 LC 回路は 1 つのリング周波数を特徴として有し、前記電子-光学的スイッチの全ての制御は 1 対の電極を介して実行される、

ことを特徴とする電子回路。

【請求項 5】

1 つの電子-光学的要素、好適にはポッケルスセル (2) がコンデンサとして前記 LC 回路内に接続されている、ことを特徴とする請求項 4 に記載の電子回路。

【請求項 6】

前記 LC 回路内のインダクタ要素およびコンデンサ要素は、前記リング周波数の周期が光共振器内の 1 つの光パルスの往復時間より 2 倍長いように選択される、ことを特徴とする請求項 4 または 5 に記載の電子回路。

【請求項 7】

パルスレーザ発生源と、レーザ制御電子ユニットとを少なくとも有するレーザワークステーションであって、前記レーザ発生源は請求項 1-3 のいずれか 1 項に記載の 1 つのレーザ装置を少なくとも有し、そして前記電子ユニットは請求項 4-6 のいずれか 1 項に記載の 1 つの回路を少なくとも有する、ことを特徴とするレーザワークステーション。

【請求項 8】

前記ワークステーションは医療用レーザとして使用されるように構成される、ことを特徴とする請求項 7 に記載のレーザワークステーション。

【請求項 9】

前記ワークステーションは材料加工に使用されるように構成される、ことを特徴とする請求項 7 に記載のレーザワークステーション。

【請求項 10】

前記ワークステーションは、分光測定、顕微鏡観察、または光と物質の相互作用研究などの材料科学用途に使用されるように構成される、ことを特徴とする請求項 7 に記載のレーザワークステーション。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザおよび光増幅器に関し、それは光を増幅するための 1 つの共振器とその光増幅器の動作を制御するための 1 つの電圧駆動の電子-光学的要素とを有する。より詳細には強制モード同期を特徴として有するセルフシードパルスレーザに関する。

【背景技術】

【0002】

短いパルスのレーザは種々の技術に基づいて構築される。ピコ秒または準ピコ秒のパルス持続時間を有するレーザを構築する最も一般的な技術は、モード同期であり、ここで 1 つの短いパルスは、その縦モードの間で、より詳細にはレーザ出力のスペクトル線の間で、固定的位相関係が達成される場合に、レーザ共振器の中で形成される。一般的にこのようなレーザ装置は、利得媒質がその中に置かれる 1 つの共振器と、共振器内の 1 つのパルスの往復時間に一致する時間周期で共振器損失を生成する 1 つの能動または受動要素と、を有する。受動要素は通常、可飽和吸収体であり、それは増大する (減少する) 光強度を

10

20

30

40

50

有する光パルスに対して透過性を変える。

【0003】

能動性モード同期は音響－光学的、電子－光学的変調器、マッハーチェンダー統合化光学変調器または半導体電子吸収変調器により実行される。変調は共振器の往復と同期され、そしてそれは通常ピコ秒のパルスを生成する結果となる。

【0004】

可飽和吸収体は能動変調器の変調周波数に比べて顕著に短い回復時間を有するので、一般的に得られたパルスの持続時間は、受動的にモード同期されたレーザより短い。

【0005】

モード同期レーザは通常高いパルス繰返数としかし低いパルスエネルギーを特徴とする。しかし高いパルスエネルギーが所望の場合、キャビティダンピングまたは回生増幅などの増幅技術が使用される。

10

【0006】

回生増幅（RA）は低エネルギーパルスを分離された別の共振器の中で増幅するための強力な手段である。モード同期レーザからのパルスは、光スイッチにより電子－光学的変調器と偏光子からなる回生増幅（RA）共振器の中に注入される。回生増幅共振器の中で複数の往復のなかで、パルスは強く増幅され、そして同じまたは異なる光スイッチを使用して光が取り出される。この技術は高い増幅を提供するが、しかしその光学的設計は高価な部品を必要とし、そして構築が複雑である。

20

【0007】

キャビティダンピングはもう1つの増幅技術であり、そこでは光学スイッチが増幅されたパルスを光共振器より引き出す。共振器はモード同期またはQスイッチング原理の両方により作動可能であり、そして通常光スイッチは音響－光学的変調器またはポッケルスセルのような電子－光学的変調器である。

【0008】

キャビティダンピングは強制にモード同期されたレーザでは稀にしか使用されない。このような技術は複数の光変調器－1つは強制モード同期用、もう1つはキャビティダンピング用を使用するため、複雑である。例えばポッケルスセルはキャビティダンピング用に使用でき、そして音響－光学的変調器が光共振器の内部に定期的な損失を生成するように構成されうる、またはその逆である。

30

【0009】

米国特許4,375,684（特許文献1）は、レーザ共振器空洞内に置かれた単一の要素が、振幅変調（AM）モード同期、Qスイッチング、およびダンピングを連続する動作の中で提供するという技術を記載している。ポッケルスセルまたは類似の偏光回転装置は最初にレーザ空洞内の放射の増強を防止するために付勢され、次に周期的に変化する信号での付勢によりモード同期を提供するように切り替えられ、そして最後に単一のモード同期パルスをダンプするように付勢される。連続的な動作は単一の電子－光学的要素および単一の電極ペアの使用を可能にする。Qスイッチング、モード同期およびダンピングは結晶内の同一の物理的作用、例えば偏光回転を使用して実現される。

40

【0010】

上記の技術は単一の電子－光学的変調器がレーザシステム全体を十分に制御できる解決法を提供している。しかし上記の特許文献の明細書と請求項は1つの実施形態を提供し、そこではポッケルスセルが複数の異なる電源から付勢され、そして1つの電源（振動電圧）からもう1つの電源（BIAS電源）に移すためにスイッチング、即ちマルチプレクシングが実行される。このようなスイッチングは、2つの電源の間のスイッチングを制御するため非常に高速で高価な電気スイッチが使われなければならないため、複雑である。さらに完璧な位相整合が2つの電気的狀態の間で維持されなければならないため、このこともまた複雑である。

【0011】

米国特許7,929,579（特許文献2）はこの技術に対するもう1つの改良を記載

50

している。十分に短い持続時間および／または十分に高いエネルギーを含む所望のパルス特性を持つレーザーエネルギーを、自然発生的（例えば母斑）および人為的（例えば刺青）の両方を含む皮膚色素沈着および色素性障害のフォトメカニカルな治療に適用するための装置および方法が開示されている。レーザーエネルギーは、モード同期パルス動作モードと増幅動作モードとの間のスイッチング能力を持つ共振器を有する装置で生成されてもよい。動作モードは、共振器の光軸に沿って配置される電子－光学的装置に、ここに記載される波形を持つ時間依存バイアス電圧を、印加することを通じて実行される。

【0012】

この特許はポッケルスセルをスイッチング回路により制御する方法を記載し、その回路は複数の電源の間のスイッチングをトランジスタにより提供する。しかしこのような回路もまた電子装置に関して制作は非常に複雑であり高価である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0013】

【特許文献1】米国特許4, 375, 684

【特許文献2】米国特許7, 929, 579

【発明の概要】

【0014】

上記で示された欠点を無くすため、本発明は、ポッケルスセルのような単一の電子－光学的変調器（2）を使用し、2つの電圧源の間でマルチプレクシングする必要のない、モード同期レーザー装置を動作させるための解決策を提供する。

その電子－光学的変調器（2）は、単一の電気回路からマルチプレクシングの必要なく電力供給され、その電気回路は本質的に両方の状態－高いバイアス電圧に相当する状態と振動電圧の状態、を有する。ポッケルスセル（2）を制御する電気信号の複合波形は、LC回路リングングと呼ばれる現象を使用することにより得られる。ここでLC回路は1つの誘導性要素と1つのコンデンサにより形成され、ここでポッケルスセルはそれ自体コンデンサとして機能する。ポッケルスセルは一般的に1－20 pFのレンジの静電容量をもつことを特徴とする。リングング周波数はつぎの式を使用して計算される：

【数1】

$$f = \frac{1}{(2\pi\sqrt{LC_{PC}})}$$

【0015】

ここにLはインダクタの公称値であり、C_{PC}はポッケルスセルの静電容量である。必要な場合静電容量値は、ポッケルスセルに並列にもう1つのコンデンサを接続することにより増加させることが出来る。

【0016】

リングング周波数は、振動の周期が光共振器内部の光パルスの往復時間より好適には2倍長いように計算されるべきである。結果として、光損失が共振器内に周期を持って形成され、その周期が光パルスの行程と一致し、それによりパルス増強が一貫してそして安定的である。

【図面の簡単な説明】

【0017】

本発明を理解し、そしてその実務的応用を理解するため以下の図が提供され、この後参照される。図は事例としてのみ示され、そして本発明の範囲を限定するものではない。

【図1】 レーザ共振器の簡略化した光学的レイアウト図である。

【図2】電子一光学的要素を制御するための例示的電氣的構成を示す図である。+HVは高電圧電源を示す；SW1，SW2は高電圧スイッチである； C_{PC} —ポッケルスセル；L—インダクタ；R1—SW2がオフの状態での電流リークを補償する抵抗であり、 C_{PC} （ポッケルスセル）の充電を許容しない；

【図3】電子一光学的要素を制御するための電氣的構成の他の1つの例示の実施形態を示す図である。シンボルが示す意味はR1，R2を除き図2と同じである。R1—コンデンサCを放電するために使用される抵抗；R2— C_{PC} （ポッケルスセル）を放電するために使用される抵抗；

【図4】電子一光学的要素を制御するための電氣的構成のさらに別の1つの例示の実施形態を示す図である。この回路は単一の高電圧スイッチのみからなる。

10

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明の最も好適な実施形態は1組の末端ミラー（4，5）により画定される少なくとも1つの光共振器を有するレーザ装置である。その共振器は1つの利得媒質（1）および1つの電子一光学的スイッチ／変調器を内包する。電子一光学的変調器は、共振器内のビームの偏光を回転できる機器（2）、偏光子（3）および選択肢として波長板（6）を有する。その共振器はさらにカーレンズモード同期ユニット、分散および回折補償光学系、エタロン、他の追加の光学部品（7）を有してもよい。その電子一光学的機器（2）は電子ユニット（8）により制御される。

【0019】

20

この文脈において電気一光学的機器（2）は、制御信号により起動された時に入射ビームの偏光を変化させることができる任意の光学的ユニットである。その光学的ユニットは、一度電気制御信号がスイッチオンになると電場および／または磁場の印加により制御される。電子一光学的ユニットのタイプおよび構成は、そのユニットが入射レーザビームの偏光状態を変化させることができ、または偏光の周期的または非周期的変化によりビームを変調できる限りは、限定的であると考えべきではない。

【0020】

偏光子（3）はs偏光とp偏光のビームが2つの分離した行路に分離される限りは任意のタイプでよい。即ち、薄膜偏光子、偏光キューブ、ニコルプリズム、ウォラストンプリズム、または当業者に使用される任意の他のものでよい。

30

【0021】

最も好適な実施形態では、電子一光学的ユニットは図1と図2に示されるような特有の波形を持つ電気信号により制御される。波形は本質的に、電圧 U_{open} とバイアス電圧 U_{closed} との間のスイッチングからなり、光パルスの増幅条件が保証される状態の1つ（この事例では U_{closed} である）において現れる振動を伴う。

【0022】

共振器内部にポッケルスセル（2）を配置するにはいくつかの方法がある。それは入射ビームの偏光を電場の印加なく回転させる方法に本質的に向いていてもよく、あるいは逆に一高電圧の印加無しに偏光状態に影響を与えなくてもよい。1/4波長電圧または半波電圧の印加により、電子一光学的スイッチはオン状態からもう1つの状態にスイッチされ、それにより入力ビームの偏光を回転させる。共振器内のポッケルスセルの操作方法および組立方法には多くの変化形があるため、当業者は本発明を実現するためにこのような任意の知識を創造的に適用できることが理解されよう。ポッケルスセルに高電圧を短時間、即ちパルス増幅の持続期間、印加することが望ましいため、好適には、増幅段階はバイアス電圧 U_{closed} がオンで始まる。

40

【0023】

1つの例示的操作順序は以下のステップで記述できる：

I 利得媒質（1）が1つの光源によって励起される；

II 電子一光学的スイッチが最初は、ビームの偏光が偏光子（3）により反射されるように設定されている状態に留まり、それが共振器内で膨大な光学的損失を形成し、そ

50

してレーザ生成を抑制する；

I I I 電子-光学的スイッチが光共振器の最低損失に相当する状態にスイッチされ、そして共振器は光子で満たされる；

I V ステップ I I I のスイッチングのすぐ後で、電圧増幅の振動が始まり、それは結果的に光共振器内で生成される周期的損失となり、それにより共振器内で光パルスが形成される；

V 光パルスは共振器内で複数回往復する；光パルスが利得媒質（1）を通過する度毎に光パルスは利得媒質の励起状態を奪い、それにより増幅される；

V I パルスが所望のレベルまで増幅された後、電子-光学的スイッチが1つの偏光に相当する状態に戻され、そこでは放射のほとんどが偏光子（3）から反射するときに共振器から引き出され、このステップはキャビティダンピングと呼ばれる。

10

【0024】

この順序はレーザが増幅されたパルスを出力することが望まれる都度いつも繰り返される。ステップ I V の状態はモード同期状態とも呼ばれ、それは光共振器の質（または損失）を定期的に変化させることにより得られる。変調の半期は好適にはパルスの共振器内の往復時間に等しい。任意の振動の周期のずれは、モード同期に負の影響を与える。パルスの往復時間と振動の周期が大きく不適合な場合はモード同期が得られず、したがってレーザはパルスをピコ秒または準ピコ秒領域で生成しない。このような場合出力パルス持続時間はポッケルスセルのスイッチング時間に関係するであろう。

【0025】

20

最良の結果を確実にするため、最も好適な実施形態では、電子-光学的装置（2）の制御電子系は受動部品からなり、それは電子-光学的装置（2）とLC回路を形成する。最も好適な場合では電子-光学的装置（2）はポッケルスセルであり、それは本質的に2つの電極の間に配置される非線形結晶である。このような配置はポッケルスセルをコンデンサにする。一般的にポッケルスセルユニットは2-3から10ピコファラッド（pF）の静電容量をもつことを特徴とする。誘導要素と組み合わせられて、ポッケルスセルは受動LC回路を形成し、それはその共振周波数を有する。このような現象はしばしばLC回路「リングング」と呼ばれる。これ以降ポッケルスセルがコンデンサとして働くLC回路の共振周波数を「リングング周波数」と呼ぶ。

【0026】

30

最も好適な実施形態では、このリングング周波数の時間周期は光共振器内の1つの光パルスの往復時間より2倍長い。LC回路振動の1周期はポッケルスセル（2）内の偏光回転の負および正の偏移を実行するが、しかし共振器損失に関しては、負および正の偏移は両方共に損失を生じ、従って電圧振動の単一の周期は損失を2回生ずると計算されるべきであることを理解する必要がある。しかし損失の生成はパルスのそれぞれの往復に適合する必要はない。これら2つのイベントはn番目の往復ごとに適合してもよく、それにより振動の周期は往復時間より2n倍長くてよい。しかし最も好適な実施形態では、この振動周期は1つのパルスの往復時間より2倍長い。

【0027】

リングング周波数は共振器の長さ（往復時間）に従って、インダクタの公称値を変化させることにより、またはポッケルスセル（ C_{PC} ）に並列に追加のコンデンサを接続することにより調整可能である。他の回路要素は、ダンピング、バンド幅、Q値および他のパラメータのようなリングング現象の所望の特性を確実にするために当業者に必要と思われる場合、追加されてもよい。

40

【0028】

ポッケルスセルは高電圧コントローラ（8）により制御され、それは本質的に高速スイッチング回路であり、数百ボルトから5kVまたは類似のオーダーの電圧をスイッチングできる。このような回路は好適には、BJT、MOSFET、IGBTまたは類似のタイプの高速トランジスタから作られる。トランジスタは直列または並列に組み合わせて接続可能である。本発明の文脈では、高電圧ポッケルスセルスイッチは、バイアス電圧と振動

50

電圧の間をスイッチングするために従来技術で使用されるスイッチング要素、即ち本発明により解決しようとする課題、と混同されるべきではない。高電圧スイッチは全てのポッケルスセルシステムにおいてデフォルトで使用され、そしてそれは本発明の目的ではない。しかし本発明は高電圧ポッケルスセルスイッチの特定の構成に限定されない。

【0029】

さらに別の実施形態では、ポッケルスセル(2) バイアス電圧 U_{open} はもう1つの値に設定され、それは一般的に $1/4$ 波長電圧より低い。このような実施形態では、ポッケルスセル(2) は偏光子(3) と共に可変ビーム減衰器として機能する。ポッケルスセル電圧を $1/4$ 波長電圧より低く設定することにより、偏光子(3) からの反射が最大である状態に偏光が完全にはスイッチされていないため、パルスが部分的に偏光子(3) から反射される。このような実施形態は、利得媒質(1) の励起パワーを変化させずにパルスエネルギーを便利に変化させることが求められる場合に有用である。

10

【0030】

ポッケルスセル電圧の振幅を調整することが不可能な場合、この実施形態はそれでも、ポッケルスセルが完全にオープン状態にスイッチされない時点でパルスがポッケルスセルを通過するように、スイッチングイベントを遅延させることにより、即ち電圧が速く増加する場合スイッチングは常にいくらかのランプアップ時間を有することを特徴とするため、完遂できる。もしパルスがポッケルスセルをランプアップ時間の間に通過すると、偏光状態は正常な操作におけるより少なく変化を受け、従ってパルスは偏光子(3) から部分的にだけ反射される。

20

【0031】

好適な実施形態では、共振器の末端ミラー(4, 5) は実質的に完全反射に作成される。この用語、および「実質的に完全反射」のような等価の用語は、ミラー4と5が共振器の操作中に通常存在するタイプの入射レーザ放射を完全に、または少なくとも90%、好適には少なくとも95%、そしてさらに好適には99%を反射することを示すために使用される。ミラーの反射率は「有効反射率」から区別されなければならない。有効反射率はミラー自体の特性ではなく、その代わりに本明細書で詳細に議論されるようなポッケルスセルの特定の操作に誘導された、第2ミラー、ポッケルスセル、および偏光子の組み合わせの有効特性を意味する。

【0032】

さらに別の実施形態では、非線形光学要素が光共振器に挿入されカーレンズモード同期ユニット(7) として働く。このような実施形態ではさらに短いパルス持続時間さえも得られる。そのような構成はフェムト秒からピコ秒までのレンジのパルス持続時間を潜在的にもたらす。

30

【0033】

最も好適な実施形態では、利得媒質の励起はレーザダイオードにより実行され、レーザダイオードは、適合する波長の放射を放射しそして十分な光学的パワーを提供するように、使用される利得媒質および共振器の設計に依存して選択される。レーザダイオードによる励起は連続またはパルスのどちらでもよい。

【0034】

さらに他の実施形態では、励起源はもう1つのレーザ発生源である。このようなレーザ発生源はパルス波または連続波のいずれかでよい。

40

さらに別の実施形態では、利得媒質はフラッシュ光源により励起される。

【0035】

利得媒質の励起と材料のタイプと状態は全部の共振器の操作に影響を与え、そして当業者は、所望の安定性、パルスエネルギー、または他のパラメータを得るために、種々の励起技術や種々の材料を創造的に使用することができる。例えば、利得媒質材料は固体結晶、ファイバー、蒸気、気体、染料、または他の既存材料でありうる。

【0036】

図2および図3に示される電気回路およびタイミング線図は本発明の例示的实施形態を

50

記載している。示される回路事例のそれぞれは、2つの高電圧スイッチ（SW1，SW2）を有する。高電圧スイッチは通常速い電圧ランプアップ時間と遅いランプダウン時間を特徴とし、したがって、ランプアップ時間とランプダウン時間の両方が短いことが望まれる構成では、2つのスイッチが好適には使用される。示される事例では、高電圧がポッケルスセルの回路に印加されるように1つの高電圧スイッチ（SW1）が高電圧でのスイッチに使用され、そして高電圧電源を接地に接続するために第2のスイッチが使用される。これによりポッケルスセルの回路からの高電圧を高速にスイッチオフすることが保証される。

【0037】

図2に示す事例では、SW1のランプアップ時間が短いことが重要である。両方のスイッチ（SW1，SW2）のランプダウン時間は長くてもよいが、SW2ではパルスが増幅される閉鎖状態の時間を超えてはならない。

【0038】

図3に示す事例の場合は、両方のスイッチのランプアップ時間が重要であり出来るだけ短くあるべきである。ランプダウン時間は重要ではない。

【0039】

図4に示すさらに別の実施形態では、1つの高電圧スイッチだけが使用される。このような実施形態はランプアップ時間とランプダウン時間が共に有意に短く、すなわちポッケルスセルが、1つのパルスがそれを通過するといつでも「閉じた」および「開いた」状態に完全に遷移する場合にのみ可能である。

【0040】

図に示される回路は、包含されるポッケルスセルを含むLC回路を高電圧電源に接続する1つの事例として示されている。しかしこのようなスイッチング線図および回路の事例は本発明の範囲を制限するものではない。

【図1】

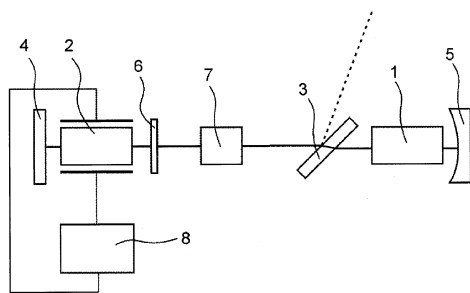


Figure 1

【図2】

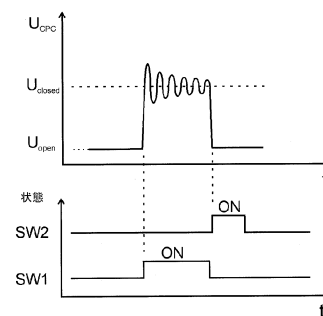
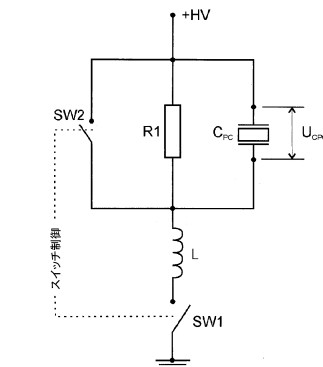


Figure 2

【図 3】

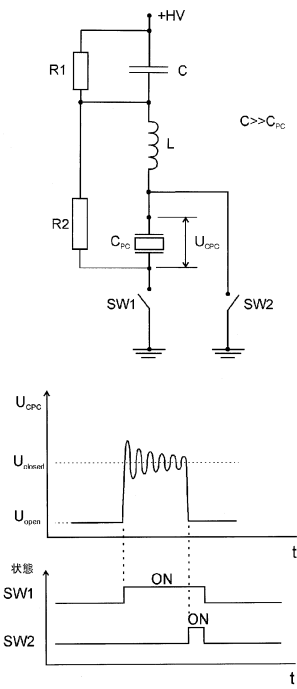


Figure 3

【図 4】

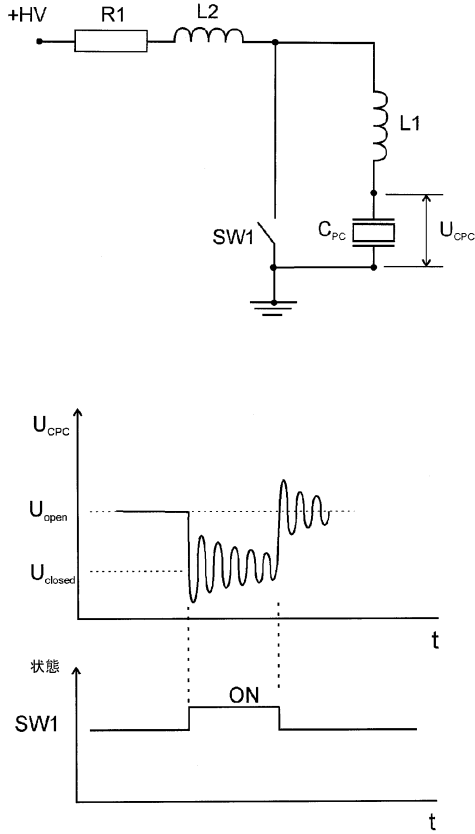


Figure 4

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭48-052392 (JP, A)
特開平10-247755 (JP, A)
米国特許第03935543 (US, A)
米国特許第04375684 (US, A)
特表2004-535663 (JP, A)
米国特許出願公開第2003/0156615 (US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S 3/00 - 3/30
G02F 1/05
JSTPlus (JDreamII)
JST7580 (JDreamII)