(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3580430号

(P3580430)

(45)発行日　平成16年10月20日(2004.10.20)　(24)登録日　平成16年7月30日(2004.7.30)

| (51)Int.Cl.[7] | F I | | |
|---|---|---|---|
| H01L 21/30 | H01L | 21/30 | |
| B23K 26/00 | B23K | 26/00 | Z |
| H01S 3/00 | H01S | 3/00 | B |
| H01S 3/104 | H01S | 3/104 | |

請求項の数 6　(全 10 頁)

(21)出願番号　特願平3-353125
(22)出願日　平成3年12月18日(1991.12.18)
(65)公開番号　特開平5-167162
(43)公開日　平成5年7月2日(1993.7.2)
審査請求日　平成10年12月18日(1998.12.18)
審判番号　不服2002-4836(P2002-4836/J1)
審判請求日　平成14年3月22日(2002.3.22)

(73)特許権者　000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号
(72)発明者　宮地　章
東京都品川区西大井１丁目６番３号　株式会社ニコン大井製作所内
(72)発明者　渥美　しのぶ
東京都品川区西大井１丁目６番３号　株式会社ニコン大井製作所内

合議体
審判長　末政　清滋
審判官　辻　徹二
審判官　柏崎　正男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　露光システム及び露光方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

エキシマレーザ装置からパルス発振されたレーザ光を露光装置内の被露光体に照射することによって、該被露光体を露光する露光システムにおいて、

前記エキシマレーザ装置からパルス発振を開始した直後に生じるレーザ光のスパイク状のエネルギー変動に関する情報として、レーザ光のエネルギーと放電電圧との関係を、前記被露光体に前記レーザ光が届かない状態で求め、前記レーザ光のエネルギーと放電電圧との関係に基づいて前記エキシマレーザ装置のパルス発振開始直後にスパイク状のエネルギー変動が生じないような放電電圧パターンを決定し、前記決定された放電電圧パターンに基づいて前記エキシマレーザ装置に与える放電電圧を制御する制御装置を有し、該制御装置によって制御された放電電圧に基づく前記エキシマレーザ装置からのレーザ光で前記被露光体を露光することを特徴とする露光システム。

【請求項２】

前記レーザ光の光路を遮断するためのシャッタを有し、

前記制御装置は、前記レーザ光の光路を前記シャッタにより遮断した状態で、前記レーザ光のエネルギー変動に関する情報を求めることを特徴とする請求項１に記載の露光システム。

【請求項３】

前記制御装置は、前記レーザ光のエネルギーがほぼ一定となるように前記決定された放電電圧パターンに基づいて前記エキシマレーザ装置に与える放電電圧をパルス毎に制御し、

前記露光装置は前記パルス発振の初期から前記レーザ光により前記被露光体の露光を行うことを特徴とする請求項１または２記載の露光システム。
【請求項４】
エキシマレーザ装置からパルス発振されたレーザ光を露光装置内の被露光体に照射することによって、該被露光体を露光する露光方法において、
前記エキシマレーザ装置からパルス発振を開始した直後に生じるレーザ光のスパイク状のエネルギー変動に関する情報として、レーザ光のエネルギーと放電電圧との関係を、前記被露光体に前記レーザ光が届かない状態下で求め、前記レーザ光のエネルギーと放電電圧との関係に基づいて前記エキシマレーザ装置のパルス発振開始直後にスパイク状のエネルギー変動が生じないような放電電圧パターンを決定し、前記決定された放電電圧パターンに基づいて前記エキシマレーザ装置に与える放電電圧を制御して、前記制御された放電電圧に基づく前記エキシマレーザ装置からのレーザ光で前記被露光体を露光することを特徴とする露光方法。
【請求項５】
前記エキシマレーザ装置からパルス発振されたレーザ光の一部を入射して、その入射したレーザ光のエネルギーを検出し、該検出結果に基づいて、前記レーザ光のエネルギー変動に関する情報として前記エキシマレーザ装置からのパルス発振開始直後のレーザ光のエネルギーと放電電圧との関係を求めることを特徴とする請求項４に記載
の露光方法。
【請求項６】
前記レーザ光のエネルギーがほぼ一定となるように前記レーザ光のエネルギーと放電電圧との関係に基づいて前記エキシマレーザ装置に与える放電電圧をパルス毎に制御し、前記露光装置は前記パルス発振の初期から前記レーザ光により前記被露光体の露光を行うことを特徴とする請求項４または５記載の露光方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、例えば半導体装置製造用の露光装置の光源に用いられるエキシマレーザ装置に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
現在、逐次移動型縮小投影露光装置（以下ステッパという）の光源として、放電励起型のパルス発振エキシマレーザが用いられている。ステッパでは、感光剤が塗布されたウエハ上の一領域が露光された後、ウエハを搭載したステージを移動させてさらに別の領域が露光されるものであり、これを繰り返すことによってウエハ上の必要な全領域が露光される。
【０００３】
このような露光には、常時光源を点灯しているｇ線、ｉ線ステッパのように、一定周波数で常時エキシマレーザを連続的に発振させて露光に必要な時にシャッタを開いて露光を行なう方法が考えられるが、この方法はレーザ光源の寿命を考慮すると効率の悪いものである。そこで、露光光源であるエキシマレーザの運転法として、図６に示すような、一定の周波数である期間連続的に発振する状態（発振状態）と発振を停止する状態（停止状態）とを繰り返すモード（以下、バーストモードと記す）が用いられている。
【０００４】
一方、ステッパにおいては均質な半導体装置を製造するためには、一領域を露光する時間内に積算される光量、即ち露光量が領域によって変動するのは望ましくなく、極力一定に保つ必要がある。
【０００５】
しかしながら、光源としてパルス発振で励起されるエキシマレーザを用いる場合、パルス放電そのものが放電ガスや電極の表面状態に依存する本質的に統計的な現象であるため、

パルス毎のレーザ光エネルギーを一定にすることは困難である。特に連続発振等の発振開始直後では、放電を支配するガスや電極の状態が過渡的に変化するため、レーザ光エネルギーが、図７に示される如く発振開始直後には大きく、その後徐々に減少していくというパターン（スパイク現象）が一般的にみられる。

【０００６】

従って、上記バーストモードにおいても、発振状態を開始するたび毎に、開始直後のレーザ光のエネルギーは大きく、その後徐々に減少していくという図８に示すようなスパイク状のパターンを示す事が避けられない状況にあった。実際の露光を行なうにあたっては、レーザ光のエネルギーを測定してから放電電圧を変更する通常のフィードバック制御ではこのスパイク状パターンを消去することはできず、発振開始直後から暫くの間（一般的に３０パルス程度まで）露光を停止しておき、バラツキがある一定の範囲内になってからのパルス光を露光に用いるという効率の悪い方法を行なっていた。

【０００７】

このように本質的にレーザ光エネルギーがパルス毎にバラツキをもつエキシマレーザを光源とする場合には特別の配慮が必要であった。そこで、従来は以下に示すような方法によりこれを解決しようとしていた。

【０００８】

一つは、パルス数を増加させることによって露光量のバラツキを減らす方法である。エキシマレーザのパルス毎の光エネルギーの頻度分布は、ほぼ正規分布で近似することができる。この様な性質をもつパルス光のエネルギーを一定時間積算した露光量のバラツキは、同じ露光量を得るための積算パルスの数をｎとすれば、もとのパルスのバラツキの１／√ｎに減少する。

【０００９】

また、ステッパまたはレーザ内の露光計を用いるなどして各パルス毎の光エネルギーを積算し、この積算値が目標とする露光量に近づいてきた時に、減光フィルタ等をレーザ光路中に挿入して目標の露光量になるようパルス毎のエネルギーを修正していくという方法も考えられていた。

【００１０】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、個々のパルスの光エネルギーを小さくして露光パルス数を増やして露光量を安定化する方法を用いる場合には、トータルのパルス数が増大するため、レーザの部品寿命が早くつきランニングコスト面で問題が生じてしまう。

【００１１】

また、近年、技術の改良によって光に対して敏感に反応する（高感度な）感光剤が開発されるにつれ、単位面積当たりの必要な露光量はより小さくなり、従来よりはるかに少ないパルス数で短時間での露光が可能となり、生産性の向上が実現できる状況となっている。しかしながら、露光光源であるエキシマレーザのスパイク状パターンを含むパルス列は、当然のことながらスパイク状パターンを含まないパルス列に比べて、そのパルス毎の光エネルギーの頻度分布に大きなバラツキを有するものであり、単純に露光のパルス数を減らしたのでは、露光量のバラツキが増大して規定値を越えてしまうという問題が生じる。

【００１２】

さらに、前述のように光エネルギーの積算値が所定値となるようにパルス毎のエネルギーを修正する露光方法を用いる場合も、必要とするパルス数を極端に減らすことはできなかった。従って、従来のエキシマレーザによる露光では、改良された高感度な感光剤の特性を十分生かすことができず、生産性の向上が実現できないという問題があった。

【００１３】

本発明は、上記問題を解消し、露光量のバラツキを最少限にすると共に従来より少ないパルス数での露光を可能とするエキシマレーザ装置を得ることを目的とする。

【００１４】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、請求項１に記載の発明では、エキシマレーザ装置からパルス発振されたレーザ光を露光装置内の被露光体に照射することによって、該被露光体を露光する露光システムにおいて、前記エキシマレーザ装置からパルス発振を開始した直後に生じるレーザ光のスパイク状のエネルギー変動に関する情報として、レーザ光のエネルギーと放電電圧との関係を、前記被露光体に前記レーザ光が届かない状態で求め、前記レーザ光のエネルギーと放電電圧との関係に基づいて前記エキシマレーザ装置のパルス発振開始直後にスパイク状のエネルギー変動が生じないような放電電圧パターンを決定し、前記決定された放電電圧パターンに基づいて前記エキシマレーザ装置に与える放電電圧を制御する制御装置を有し、該制御装置によって制御された放電電圧に基づく前記エキシマレーザ装置からのレーザ光で前記被露光体を露光することとした。

また請求項４に記載の発明では、エキシマレーザ装置からパルス発振されたレーザ光を露光装置内の被露光体に照射することによって、該被露光体を露光する露光方法において、前記エキシマレーザ装置からパルス発振を開始した直後に生じるレーザ光のスパイク状のエネルギー変動に関する情報として、レーザ光のエネルギーと放電電圧との関係を、前記被露光体に前記レーザ光が届かない状態下で求め、前記レーザ光のエネルギーと放電電圧との関係に基づいて前記エキシマレーザ装置のパルス発振開始直後にスパイク状のエネルギー変動が生じないような放電電圧パターンを決定し、前記決定された放電電圧パターンに基づいて前記エキシマレーザ装置に与える放電電圧を制御して、前記制御された放電電圧に基づく前記エキシマレーザ装置からのレーザ光で前記被露光体を露光することとした。

【００１９】

【作用】

放電励起型エキシマレーザから発振されるパルス状のレーザ光のエネルギーの大きさは、図４に示すように放電電圧によって変動する。この性質はエキシマレーザの光出力をフィードバック制御して長期的に一定に維持するために従来から使われてきた。しかし、エネルギーを測定してから放電電圧を変更する従来の方式での制御は、発振状態の開始直後のスパイク現象を取り除くことはできなかった。これは、停止状態においてガスの状態が変化し、発振状態の最初の数パルスを制御できなかったからである。

【００２０】

本発明は、前述のスパイク状パターンを消去し、バーストモードにおける発振状態中の各パルス毎のエネルギー値をほぼ一定とするように放電電圧を制御する制御手段を備えたものであり、感光剤に対して影響を与えない状態でパルス発振を行ない、その時のパルスエネルギーと放電電圧との関係を求めて記憶手段に記憶し、この関係に基いて放電電圧の制御を行なうものである。

【００２１】

即ち、スパイクの発生要因であるガスの状態や電極の状態がパルスエネルギーに与える状況を探るために、感光剤に影響を与えない状態でパルス発振し、その時のレーザ光のパルスエネルギーと放電電圧との関係を計測してその値から図５の（ａ）に示されるようなスパイク状のパターンを予測する。

【００２２】

パルスの発振時にはそのスパイク状パターンを相殺するため、図５（ｂ）に示す如く放電電圧を時間的に変化させてパルス発振を行う。このような制御手段によって、バーストモードで運転するエキシマレーザではこれまで不可避と考えられていたエネルギーのスパイク状のパルスを事実上消去することが初めて可能となる。

【００２３】

従って、本発明においては、発振直後からパルスエネルギーのほぼ一定なレーザ光を得ることができ、露光量のバラツキを最少限にすることが可能となる。また、パルスエネルギーを一定にするような放電電圧の制御パターンを決定するための発振を半導体装置の露光動作を行なっていない期間に行なうため、露光時間には影響せず、スループットを低下させることもない。

【００２４】
さらに、本発明では、上記の制御を、パルス発振直後からほぼ３０パルス以下に対して行なうとしている。これは、一般にバーストモード運転のエキシマレーザにおいて、パルス発振直後にパルスエネルギーの極端に大きくなるスパイク状パターンが、通常は発振開始からほぼ３０パルス以上におよぶことがないという事実を考慮したものである。従って、発振初期のスパイク状態が落着いてからは従来のフィードバック制御機能を用いることができる。
【００２５】
【実施例】
以下に、本発明の実施例を説明する。図１は、本発明の一実施例に係るエキシマレーザ装置を光源とした場合の露光システムを示す。レーザの発振器１から発生したレーザ光の一部はビームスプリッタ２で反射され、検出器３に入射する。検出器３から出力したレーザ光のエネルギーに応じた光電信号は、コンピュータ４に入力してパルス毎のエネルギーが求められる。また、コンピュータ４は、図４に示すようなレーザ発振器１に対する放電電圧とレーザ光のパルスエネルギーとの関係を求めて記憶しており、電源５に対して放電電圧に関する指令（信号）を出力する。
【００２６】
レーザの電源５は、コンピュータ４の指令に基く放電電圧をレーザの放電回路に与える。放電電圧は印加電圧かあるいは充電電圧である。また、ビームスプリッタ２を透過したレーザ光は、その光路中に進退可能なシャッタ６によってステッパ８内に配置されたウエハに到達しないように遮断されている。コンピュータ４はレーザ部７とステッパ８の間のインターフェースとしても使用できるもので、シャッタ６を含むレーザ部７の状態をステッパ８に通信する事ができる。
【００２７】
通常の露光装置においては、特開平２－２９４０１３号公報に開示してあるように、レーザ側とステッパ側は各種のインターフェース信号に基いて協調制御が行なわれている。例えば、ステッパ側からレーザ側へ発振命令としてトリガー信号を出力することによってレーザ光を放出する。また、レーザ側からステッパ側へシャッタ位置を示す信号を出力することによってシャッタを制御している。
【００２８】
本実施例においてもコンピュータ４とステッパ８との間に上記のようなインターフェース信号を通信することによってレーザ部７とステッパ８とを協調制御している。
また、本実施例においては、ビームスプリッタ２、検出器３、コンピュータ４、シャッタ６はレーザ部７に内蔵された場合を示しているが、これらはステッパ８内にあっても良い。
【００２９】
コンピュータ４は、レーザ光のパルスエネルギーが一定になるような、パルスの発振時間に対する放電電圧のあらかじめ決められたパターンをデータとして持っている。レーザ光のエネルギー値はガス状態、電極の消耗状態等に依存するため、こうしたパターンを決定するには、バーストモードの停止状態中にできるだけ少ないパルス数だけ発振してそのときの放電電圧とレーザ光のエネルギーとの関係を求めて決定することが好ましい。
【００３０】
レーザ部７は、ステッパ８からの発振命令がコンピュータ４を通じて与えられると、その時記憶している放電電圧のパターンのデータにしたがって電源５を制御し放電電圧を時間とともに変化させつつパルス発振を行う。
【００３１】
図２は、このような放電電圧の制御によるエキシマレーザ制御のためのアルゴリズムの一例をフローチャートで示したものである。以下このフローチャートに従って制御の具体例を説明する。
コンピュータ４は、前述したような発振時間に対する放電電圧の関係についてのパターン

を予め初期データとして記憶している（ステップ１０１）。コンピュータ４はステッパ８からの発振命令の有無をチェックし（ステップ１０２）、なければパターンのデータを更新するルーチンＡに移る。

【００３２】

ルーチンＡではまずステッパ８からの発振命令を受け付けないようにし（ステップ２０１）、シャッタ６を閉じる（ステップ２０２）。こうしてレーザ光が被露光体に届かない状態を作りだした後、発振を行う（ステップ２０３）。この発振は前述のように極力レーザの状態に影響を与えないのが望ましく、できれば１から数パルスがよい。この時のレーザ光は検出器３で測定され（ステップ２０４）、コンピュータ４でレーザ光のパルスエネルギーを算出する（ステップ２０５）。この時のエネルギー値にしたがって放電電圧のパターンのデータを更新する（ステップ２０６）。

【００３３】

データ更新（ステップ２０６）の方法として例えば次のようなものが考えられる。放電電圧のパターンは通常図５の（ｂ）　のように、徐々に放電電圧値を上昇させ、一定値に達した後はそのパルスエネルギー値を保つ通常のフィードバック制御又は電圧を一定に保つ制御とするものである。

【００３４】

図５の（ａ）　のように一定の放電電圧で発振したときに生じるレーザ光エネルギーのスパイク状パターンが強く現れると考えられるなら、前述したようなコンピュータ４に記憶する放電電圧変化のパターン（図５ｂ）は急峻になり、初期の放電電圧値はより小さくされるべきである。逆にスパイク状パターンが弱く現れると予測されるなら、コンピュータに記憶する放電電圧変化のパターンは緩慢になるべきである。

【００３５】

即ち、シャッタ６を閉じてこのルーチンＡで発振したときの最初の数パルスのエネルギー値が大きい時には、放電電圧変化のパターンは急峻になる。逆にさほど大きくなければ放電電圧変化のパターンは緩慢になる。

【００３６】

こうしてパターンのデータが更新されると、ルーチンＡの最初で行った発振受付の停止を解除し（ステップ２０７）、ステッパ８からの発振命令が有ればそれにしたがってシャッタ６を開き（ステップ１０３）、コンピュータ４に記憶、あるいは更新されたパターンのデータに基いてレーザ光を発振する（ステップ１０４）。所定パルス数だけ、または所定の露光量だけ露光を行なった後、シャッタ６を閉じる（ステップ１０５）。

【００３７】

上記図２のフローチャートに示した制御は、ステッパが数回、ないし数十回のバーストの命令信号をまとめて出すために、バーストモードの停止状態を１回毎にコンピュータ４で認識させず、複数のまとまった発振状態が終了した後の、パルス発振を停止させた状態で次のパルス発振における放電電圧のパターンを決定する例である。因に、このパルス発振停止中にウエハの交換等を行なってもよい。

【００３８】

次に、レーザ制御の他の例を図３に示す。これは、バーストモードの停止状態の１回毎に経過時間をリセットし、所定時間内に次のパルス発振がない場合にデータの更新を行なうものであり、所定時間以上パルスの発振がない場合は、レーザのガス状態等が変化し、それまでのデータでは正確さに欠けるということを考慮したものである。

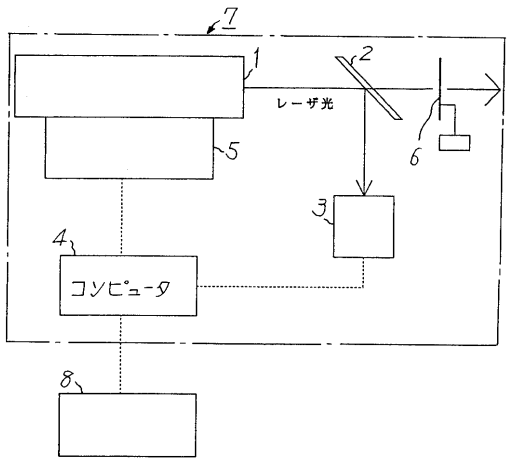
【００３９】

まず、レーザが停止状態になる（ステップ３０１）とともにタイマーをリセットする（ステップ３０２）。この時には予めあるパターンがデータとして与えられている。停止状態の開始と同時に、コンピュータ４は内蔵するタイマーによって停止状態になってからの経過時間を算出する（ステップ３０４）。これが予め設定された時間Ｔを越えないときは発振命令の有無をチェックし（ステップ３０５，３０６）、なければ再び経過時間を算出する。

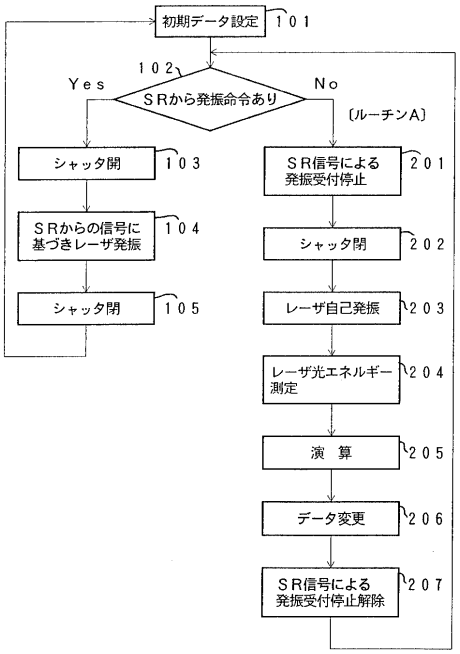
【００４０】
通常はこのループを廻っている事になる。しかし経過時間がＴを越えた時には更に発振命令の有無を調べ（ステップ３０７）、なければパターンのデータを更新するルーチンＡに移る。以下は、図２と同様の過程でデータ更新が行なわれる。
【００４１】
パターンのデータが更新されると、ルーチンＡの最初で行った発振受付の停止を解除し（ステップ２０７）、経過時間のタイマーをリセットして（ステップ２０８）、先ほどの経過時間計算のルーチンに戻る。再度設定時間Ｔが経過するまでは、通常のルーチンを廻る。勿論、途中で発振命令が入ればそれにしたがって、またその時点でコンピュータが記憶しているデータに基いて発振を行い（ステップ３０８）、この発振が終了すると同時に発振停止状態開始（ステップ３０１）に戻る事となる。
【００４２】
以上の実施例で示したようなエキシマレーザの制御は、パルス発振初期の数パルスから３０パルス程度までのパルス発振に対して行なわれるよう設定すればよい。これは、これまでの経験より、パルス発振直後に生じるスパイク現象は最初の数パルスからほぼ３０パルスまでであり、それ以上に及ぶことはないことが解っているためである。従って、あらかじめ決められる放電電圧のパターンは発振開始から３０パルス程度までで良く、それ以降はいわゆる従来のフィードバック制御を用いることができる。
【００４３】
また、このときパルス毎のエネルギーをほぼ一定にしたとしても、若干のバラツキが残ることも考えられる。その場合、積算露光量の増加につれて目標の露光量からかけはなれることになる。これを避けるため、積層露光量をモニターして目標値となるように各パルス毎のエネルギーを制御するようにしてもよい。
【００４４】
【発明の効果】
以上に説明したように、本発明においては、バーストモードの発振直後からパルスエネルギーの一定なレーザ光を得ることができ、少ないパルス数であっても露光量のバラツキを極めて少なくすることが可能となる。よって、最新の感光剤の優れた特徴を余す事なく引き出して極めて高い生産性を実現できると共に、トータルパルス数が減少することによってレーザの寿命が長くなり、ランニングコストが安くなる等の効果を有する。
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明の一実施例に係るエキシマレーザ装置を用いた露光装置の概略構成図である。
【図２】本発明の一実施例のエキシマレーザ制御の手順を説明するフローチャートである。
【図３】本発明の一実施例のエキシマレーザ制御の手順を説明するフローチャートである。
【図４】エキシマレーザの放電電圧とパルスエネルギーとの関係を説明する線図である。
【図５】本発明の作用を説明する図である。
【図６】ステッパにおけるバーストモードを説明する図である。
【図７】エキシマレーザ光のパルス毎のエネルギーの大きさを示す線図である。
【図８】バーストモードにおけるエキシマレーザ光のパルス毎のエネルギーの大きさを示す図である。
【符号の説明】
１：エキシマレーザ発振器
２：ビームスプリッタ
３：検出器
４：コンピュータ
５：レーザの電源装置
６：シャッタ

７：レーザ部
８：ステッパ

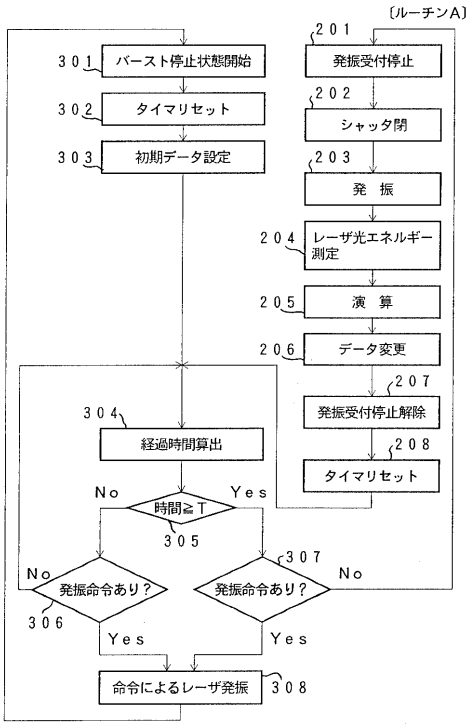
【図１】



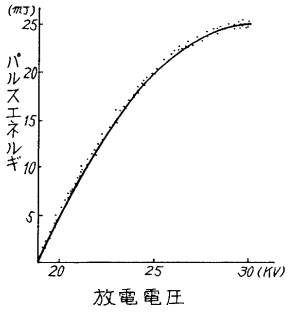

【図２】



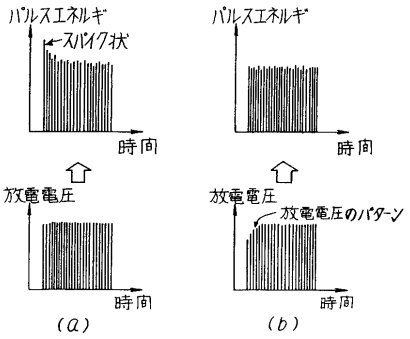
【図３】



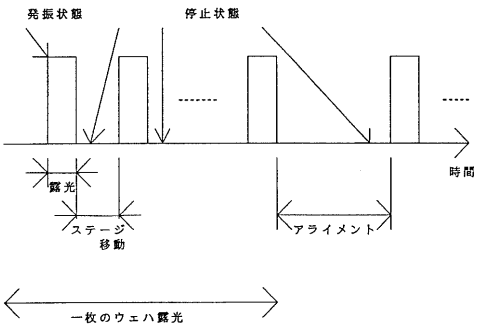

【図４】



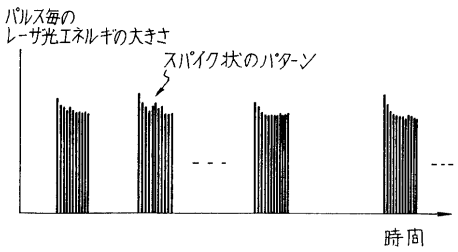

【図５】



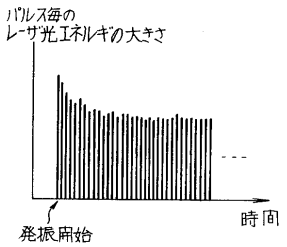

【図６】




【図８】




【図７】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平２－１７７３１５（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－９１８７（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－２４１９２５（ＪＰ，Ａ）
実開昭５７－１９７６６０（ＪＰ，Ｕ）