

(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2019-21432

(P2019-21432A)

(43) 公開日 平成31年2月7日(2019.2.7)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 J 65/04 (2006.01)	HO 1 J 65/04	Z 2 G 0 8 4
HO 5 H 1/24 (2006.01)	HO 5 H 1/24	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2017-136778 (P2017-136778)
 (22) 出願日 平成29年7月13日 (2017.7.13)

(71) 出願人 000102212
 ウシオ電機株式会社
 東京都千代田区丸の内一丁目6番5号
 (74) 代理人 100106862
 弁理士 五十畑 勉男
 (72) 発明者 野▲崎▼ 新一郎
 東京都千代田区丸の内1丁目6番5号 ウ
 シオ電機株式会社内
 Fターム(参考) 2G084 AA11 CC27 CC34

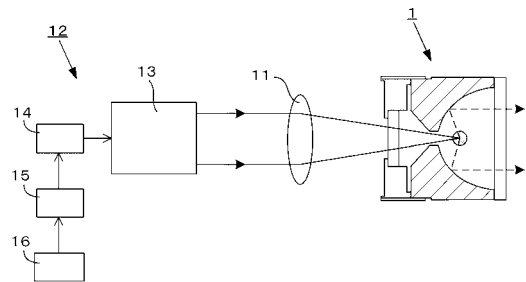
(54) 【発明の名称】 レーザ駆動光源装置

(57) 【要約】

【課題】レーザ発振部と、放電媒体が封入されたプラズマ容器とを備え、前記レーザ発振部からのレーザ光を前記プラズマ容器内に集光してプラズマを生成するレーザ駆動光源装置において、大出力のCWレーザ発振部を用意せずとも、黒体放射のスペクトルの形状を大出力のCWレーザを入射した場合と相似形状に保って、真空紫外領域とそれ以外の領域の比率を変えずに真空紫外線を効率よく得られるレーザ駆動光源装置を提供しようとするものである。

【解決手段】前記レーザ光は、数μsec～数msecのオン時間、及び、プラズマが消滅しない時間のオフ時間となるようにオンオフ制御されてその出力が変調されていることを特徴とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザ発振部と、放電媒体が封入されたプラズマ容器とを備え、前記レーザ発振部からのレーザ光を前記プラズマ容器内に集光してプラズマを生成するレーザ駆動光源装置であって、

前記レーザ光は、数 μsec ~ 数 msec のオン時間、及び、プラズマが消滅しない時間のオフ時間となるようにオンオフ制御されてその出力が変調されていることを特徴とするレーザ駆動光源装置。

【請求項 2】

前記レーザ発振部は、ポンピング器と、レーザ共振器と、これに給電する給電装置と、該給電装置を制御する制御部とからなり、

前記制御部は前記給電装置を、数 μsec ~ 数 msec のオン時間、及び、プラズマが消滅しない時間のオフ時間となるようにオンオフ制御することを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ駆動光源装置。

【請求項 3】

前記プラズマ容器が、凹面反射面を有する本体と、該本体の後方開口に設けられた光入射窓と、該本体の前方開口に設けられた光出射窓とからなり、

前記本体と前記光入射窓と前記光出射窓によって密閉空間が形成されていて、該密閉空間内に前記放電媒体が封入されてなり、

前記レーザ発振部からのレーザ光は、前記光入射窓から前記プラズマ容器内に導入されていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のレーザ駆動光源装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、レーザ駆動光源装置に関するものであり、特に、プラズマ容器内にレーザ光を間欠的に照射するレーザ駆動光源装置に係わるものである。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体、液晶基板およびカラーフィルタ等の被処理物の製造工程においては、入力電力の大きな紫外線光源を使用されている。

このような高出力の紫外線、特に、短波長側の紫外線を出力する光源として、点光源管球において電極間で点灯した後にそのプラズマにレーザ光を照射することによって、連続的な高輝度光を発生させるレーザ駆動光源が提案されている。例えば、特表 2009-532829 号公報（特許文献 1）に開示されている。

【0003】

この特許文献 1 には、図 5 に示すように、希ガス、水銀等のイオン性媒体（放電媒体）が封入されたチャンバ（管球）21 と、該チャンバ 21 内のイオン性媒体をイオン化するための点火源である一对の電極 32、33 と、連続またはパルス状のレーザエネルギーを照射するレーザ発振部 24 とを備えるレーザ駆動光源 20 が開示されている。

該レーザ発振部 24 は、光ファイバ 26 を介してレーザ光 25 を出力するダイオードレーザである。該光ファイバ 26 は、レーザ光 25 を実質的に互いに平行にするためのコリメータ 27 にレーザ光 25 を供給する。次いで、コリメータ 27 はビームエキスパンダ 28 にレーザ光 25 を向ける。ビームエキスパンダ 28 は、レーザ光のサイズを拡大してレーザ光を生成する。また、ビームエキスパンダ 28 は、光学レンズ 29 にレーザ光を向ける。光学レンズ 29 は、チャンバ 21 のうちのプラズマ 30 が存在する領域に向けられる小径レーザ光を生成するためにレーザ光 25 を集光する。

【0004】

10

20

30

40

50

このレーザ駆動光源 20 は、陽極 32 および陰極 33 からなる点火源によってチャンバ 21 内で放電を発生させてイオン性媒体をイオン化し、次いで、イオン化された媒体にレーザエネルギーを供給して高輝度光 31 を発生するプラズマ 30 を維持または生成するものである。

しかして、このレーザ駆動光源 20 では、プラズマの温度が放射および他のプロセスによってバランスされるまで上昇し、10000 K ~ 20000 K という極めて高温になり、高温プラズマから放射される短波長の紫外線エネルギーが増加するものである。

また、上記特許文献 1 には、点火源として、上記一対の電極を利用する以外に、パルスレーザ光を利用することも記載されている（請求項 43）。

【0005】

このような点火源としてパルスレーザ光を利用する場合、ピークのエネルギーがメガワット(MW)のオーダーであり、パルス幅がフェムト秒(fs)~ナノ秒(ns)程度であり、また、繰り返しの周期がミリ秒(ms)程度のパルスレーザ光が使用される。

ところが、パルスレーザ光は、ピークのエネルギーは大きい、パルス幅が極めて短く、繰り返し周期も短くできないため、時間平均したエネルギーは低くなる。そのため、パルスレーザ光の照射で、チャンバ内にプラズマ(火種)を生成することができても、パルスレーザ光のみを繰り返すだけでは、生成されたプラズマを定常的に維持することができない。

そこで、この種の光源の始動(点火)の際には、図 6(A)で示すように、CWレーザ光(Continuous Wave Laser)を照射するとともにパルスレーザ光(Pulse Laser)を重畳して照射し、図 6(B)に示すように、パルスレーザ光の照射で発生したプラズマ(火種)を、CWレーザ光から供給されるエネルギーで維持する方法がとられる。

【0006】

ところで、半導体集積回路の微細化、高集積化につれて、露光用紫外線光源の短波長化が進められている。特に波長 200 nm 以下の真空紫外光(VUV光)は、半導体露光はもちろん、これ以外の様々な分野でも用いられている。例えば、フォトリソによるパターン形成工程を用いずに、VUV光とマスクを用いて、直接光で化学反応を引き起こして自己組織化単分子膜をパターンニングする技術にも応用される。

プラズマから放射される光は、黒体からの輻射と考えることができ、放射スペクトルはプランクの式に従う。この式では、プラズマ温度が上昇すると、短波長側の成分が大きいスペクトルに変化する。

【0007】

このようなレーザ駆動光源において、プラズマ容器から放射されるプラズマ光に含まれる短波長の紫外線の成分を増やそうとすれば、プラズマ容器内に形成されるプラズマに投入するレーザのパワー(時間あたりエネルギー;ワット)を増やすことが考えられる。

図 7 は、このことを概念的に示す図である。レーザパワーが P1 の時のプラズマ温度を T1 とし、レーザパワーが P2 の時のプラズマ温度を T2 とすると、レーザパワーが P1 < P2 の時、プラズマ温度は T1 < T2 である。

このとき、黒体輻射の分光スペクトルにおいて、ある紫外線の波長以下の面積 A を、レーザパワーが P1 と P2 の場合で比較すれば、A1 < A2 となっている。

これは、プラズマに投入するレーザパワー P を上げれば、単に光出力が大きくなるだけでなく、プラズマ温度 T が高くなることにより、黒体輻射のスペクトルが短波長側にシフトすることに由来し、その結果、短波長側の紫外線成分(光出力全体に対する紫外線出力の割合)を増やすことができ効率的である。

【0008】

しかしながら、短波長側の紫外線成分の増加を目的としてレーザパワーを増大させるためには、大出力の CWレーザ源を用意しなければならず、装置が大掛かりとなり多大なコストがかかる。

また、大出力のレーザパワーをチャンバ(バルブ)内に入力することになり、チャンバに過剰な熱負荷をかけバルブ破損の原因にもなる。

10

20

30

40

50

であるからといって、始動時に用いられるパルスレーザをプラズマ維持のために使用しようとするれば、前述したように、パルスレーザは1つのパルスにより、大きなエネルギーを投入できるが、パルス幅がnsec、繰り返しの周期がmsec程度のオーダーであって、パルスレーザだけでは、プラズマを維持することができないという問題もある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特表2009-532829号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

この発明は、上記従来技術の問題点に鑑みて、レーザ発振部と、放電媒体が封入されたプラズマ容器とを備え、前記レーザ発振部からのレーザ光を前記プラズマ容器内に集光してプラズマを生成するレーザ駆動光源装置において、大出力のCWレーザ発振部を用意せずとも、黒体放射のスペクトルの形状を大出力のCWレーザを入射した場合と相似形状に保って、真空紫外領域とそれ以外の領域の比率を変えずに真空紫外線を効率よく得られるレーザ駆動光源装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題を解決するために、この発明に係わるレーザ駆動光源装置は、前記レーザ光が、数 μ sec～数msecのオン時間、及び、プラズマが消滅しない時間のオフ時間となるようにオンオフ制御されてその出力が変調されていることを特徴とする。

また、前記レーザ発振部は、ポンピング器と、レーザ共振器と、これに給電する給電装置と、該給電装置を制御する制御部とからなり、前記制御部は前記給電装置を、数 μ sec～数msecのオン時間、及び、プラズマが消滅しない時間のオフ時間となるようにオンオフ制御することを特徴とする。

また、前記プラズマ容器が、凹面反射面を有する本体と、該本体の後方開口に設けられた入射窓と、該本体の前方開口に設けられた出射窓とからなり、前記本体と前記入射窓と前記出射窓によって密閉空間が形成されていて、該密閉空間内に前記放電媒体が封入されてなり、前記レーザ源からのレーザ光は、前記入射窓から前記プラズマ容器内に導入されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、高いエネルギーのレーザパワーを連続的に投入する場合に比べて、プラズマに投入される平均エネルギーを低く維持しつつも、瞬間的に高エネルギーのレーザパワーを投入することで、その結果得られる分光強度のプロファイルを、連続した高いエネルギーのレーザパワーを投入した場合と同等のものとすることができ、短波長の紫外線領域の発光強度を増加させることができる。

これにより、大掛かりなレーザ発振部を必要とすることなしに効率的な紫外線領域をもった発光が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の実施例に係るレーザ駆動光源装置の説明図。

【図2】本発明に用いられるプラズマ容器の一例の断面図。

【図3】本発明でのレーザ光の強度分布を示す説明図。

【図4】本発明による効果の説明図。

【図5】従来技術のレーザ駆動光源装置の説明図。

【図6】従来技術における入射レーザ光とプラズマの説明図。

【図7】従来技術におけるレーザ光の強度と分光分布の説明図。

【発明を実施するための形態】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

図 1 に本発明のレーザ駆動光源装置が示されていて、プラズマ容器 1 内には希ガス、水銀等のイオン性の放電媒体が封入されている。

このプラズマ容器 1 には、レーザ発振部 1 2 からのレーザ光が集光レンズ 1 1 によって集光されて入射される。

レーザ発振部 1 2 は、レーザ共振器 1 3 と、ポンピング器 1 4 と、これに給電する給電装置 1 5、および、これを制御する制御部 1 6 とが接続されている。

【 0 0 1 5 】

レーザ共振器 1 3 は、部分反射鏡と全反射鏡からなる一对の反射鏡を有し、その内部の光路上にレーザ媒質が配置される。

レーザ共振器 1 3 には、このレーザ媒質を励起するポンピング器 1 4 が配置される。このポンピング器 1 4 としては、レーザ媒質を励起させる光を供給するものが用いられ、例えば複数のレーザダイオード(LD)や、ランプなどが用いられる。

そして、ポンピング器 1 4 には、制御部 1 6 によって制御される給電装置 1 5 が接続される。

制御部 1 6 は、ファンクションジェネレータからの信号、例えば一定周期のサイン信号や矩形波信号などに応じ、給電装置 1 5 からポンピング器 1 4 への給電を調整する。ポンピング器 1 4 は、給電装置 1 5 からの給電に応じたエネルギーでレーザ共振器 1 3 を励起する。

【 0 0 1 6 】

図 2 にプラズマ容器 1 の一詳細例が示されていて、プラズマ容器 1 は、セラミックス材料などからなる柱状の本体 2 と、その前後面に設けられた光出射窓 3 と、光入射窓 4 とからなる。

そして、この胴体部 2 の前面側には凹面反射面 5 が形成されるとともに、その中心にはこれを光軸方向に貫通するレーザ光通過孔 6 が穿設されている。このレーザ光通過孔 6 の後端側、即ち、入射側は面取りされてテーパ部 6 a が形成されている。このテーパ部 6 a は、集光されたレーザ光が光入射窓 4 を経て導入されてレーザ光通過孔 6 に導かれるときに、このレーザ光通過孔 6 の入射側で蹴られて遮断されるがないようにしたものである。

前記凹面反射面 5 は、放物線形状や楕円形状によって構成され、この実施例では放物線形の反射面として記載されている。この凹面反射面 5 には、アルミニウムなどが蒸着された金属蒸着膜や、あるいは、誘電体多層膜が被覆形成されている。

【 0 0 1 7 】

前記凹面反射面 5 の前方に設けられる光出射窓 3 は紫外光透過性であり、後方の光入射窓 4 はレーザ光透過性であって、ともに水晶、サファイア、石英ガラスなどの硝材からなる。

そして、外周面がメタライズされた光出射窓 3 は、弾性的なリング部材 7 と銀ロウなどによりロウ付けにより接合され、一方、本体 2 のメタライズされた前端部には金属筒体 8 がロウ付けにより接合されている。そして、前記リング部材 7 と金属筒体 8 とが、TIG 溶接やレーザ溶接などにより溶接接合されている。これにより、本体 2 の前方開口に光出射窓 3 が取り付けられる。

【 0 0 1 8 】

また、同様に外周面がメタライズされた光入射窓 4 は、金属ブロック 9 にロウ付けにより接合され、本体 2 のメタライズされた後端部には金属筒体 1 0 がロウ付けにより接合されていて、前記金属ブロック 9 と金属筒体 1 0 とが溶接接合されている。これにより、本体 2 の後方開口に光入射窓 4 が取り付けられる。

このようにして組み立てられた本体 2 と、光出射窓 3 および光入射窓 4 とによってプラズマ容器 1 が構成され、その内部には密閉空間 S が形成され、該密閉空間 S 内には放電媒体としてキセノンガス、クリプトンガス、アルゴンガス等の希ガスや水銀ガスなどの発光ガスが発光波長に合わせて封入されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 9 】

そして、レーザ発振部 1 2 からのレーザ光は、集光レンズ 1 1 によって集光されつつ、プラズマ容器 1 の光入射窓 4 から入射して、凹面反射面 5 の焦点位置 F に集光する。これにより当該焦点位置 F を中心としてプラズマが生成され、放電媒体が励起されて生じる励起光は、凹面反射面 5 により反射されて、光出射窓 3 から外部に出射されていく。

【 0 0 2 0 】

しかして、始動(点火)の際には、従来技術と同様に、図 3 に示すように、レーザ発振部 1 2 から C W レーザ光を照射するとともにパルスレーザ光を重畳して照射し、パルスレーザ光の照射でプラズマ(火種)を発生させる。このプラズマ(火種)は、同時に照射されている C W レーザ光のエネルギーによって維持される。

10

本発明においては、このプラズマを維持する C W レーザ光の出力を制御するものであって、制御部 1 6 によって給電装置 1 5 が、所定のオン時間とオフ時間となるようにオンオフ制御されて、前記レーザ発振部 1 2 からの C W レーザ光の出力が変調されている。

このオン時間は、数 μ sec ~ 数 msec であって、オフ時間はプラズマが消滅しない時間となるように制御される。

なお、このオン時間は、パルスレーザ光のパルス幅が \sim ns 程度であることを勘案すれば、少なくとも 1 0 0 0 倍以上の幅を有するものである。

ところで、本発明では、間欠的にレーザ光を照射するものであるので、用語のみを勘案したとき厳密には「連続(CW)レーザ光」とはいえないかもしれないが、従来技術における C W (連続)レーザ光を供給する場合に、オン時間とオフ時間を設けて間欠的に供給するものであって、本明細書では、これをパルスレーザ光との対比において、(C W)レーザ光の出力を変調すると表現しているものである。

20

【 0 0 2 1 】

このように、本発明においては、プラズマを維持する C W レーザ光の出力は変調されているものであるが、その効果について図 4 に基づいて説明する。

プラズマには間欠的にレーザ光が照射されているため、レーザ光が照射されていない時間(オフ時間)も入れてレーザパワーを平均すると、連続的に照射される場合と比べてその強度は低くなる。

つまり、照射されるレーザパワーを P とし、レーザ光が照射されている時間(オン時間)を T_{on} とし、レーザ光が照射されていない時間(オフ時間)を T_{off} とすると、平均エネルギーは $P_a = P \times T_{on} / (T_{on} + T_{off})$ となる。

30

このとき、オン時のレーザパワー P は同じなので、プラズマ温度は同じとなり、プラズマからの発光スペクトルの形状は同じとなる。

【 0 0 2 2 】

C W レーザ光のレーザパワーを P としたときのスペクトルにおける波長 λ_1 以下の領域の面積を S_1 、 λ_1 以上の領域の面積を S_2 とし、C W レーザ光を変調したときの波長 λ_1 以下の領域の面積を S_3 、 λ_1 以上の領域の面積を S_4 とすると、

$S_1 : S_2 = S_3 : S_4$ である。

即ち、例えば、 $\lambda_1 = 200 \text{ nm}$ としたとき、真空紫外領域(200 nm 以下)と、それ以外の領域(200 nm 以上)の面積比率は同様である。

40

このように、間欠的な入力とすることで、平均レーザパワーを小さくしても、大入力を連続的に入力するとき得られるスペクトルと同様なプロファイルを持ったスペクトルが得られる。

【 0 0 2 3 】

以上のように、平均レーザパワーを小さくすることで、レーザ発振部全体の装置大型化を抑制しつつ、所定の短波長の紫外線領域(例えば、真空紫外領域)の発光強度を効率的に増加させることができる。

換言すると、連続供給の場合(従来技術)と、間欠供給の場合(本発明)で、平均レーザパワーを同等としたときには、本発明の方が、紫外線領域が増加した発光スペクトルが得られることになる。

50

なお、始動(点火)の際のプラズマ(火種)生成用の点火源としては、上記パルスレーザー光以外に、プラズマ容器内に一对の電極を設け、この電極間に高電圧を印加して絶縁破壊させプラズマを発生させるものであってもよい。

【0024】

以下、一実施例を挙げると以下の通りである。

プラズマ容器：合成石英ガラス製の管球(点火用電極付き)

封入ガス：Xe 10atm

使用レーザー：ファイバーレーザー(M2 1.1、ビーム径 14mm)

波長：1070nm

集光レンズ：f=40

レーザー出力：変調CWレーザー、平均出力211W

(オン時間80 μ s、オフ時間80 μ s、ピーク値419W)

10

【0025】

上記の本発明のレーザー駆動光源装置と、レーザーとして出力212WのCWレーザー(無変調)を用いた比較例との比較を行った。

VUV(波長160~180nm)の出力は、スペクトル積算値で、比較例では9,770(任意単位：Arbitrary Unit：a.u.)であったのに対して、本発明では11,864であり、平均レーザー出力が同じであるにも拘わらず、VUV出力は約1.2倍に増加した。

【0026】

以上のように、本発明のレーザー駆動光源装置では、プラズマ容器内のプラズマを維持するレーザー光として、数 μ sec~数msecのオン時間、及び、プラズマが消滅しない時間のオフ時間となるように出力が変調されたレーザー光を照射することで、平均レーザー出力が小さいにも拘わらず、大出力で得られるスペクトルと同様なスペクトルを得られて、レーザー発振部の装置の大型化を抑制しつつ、所定の短波長以下の紫外線領域の発光強度を効率的に増加することができる。

20

【符号の説明】

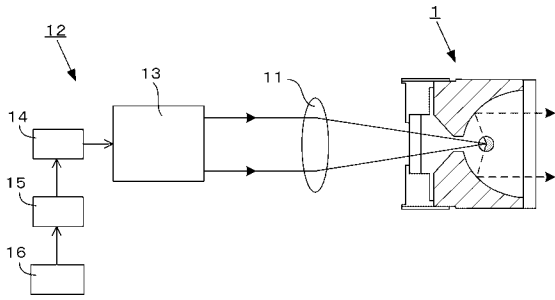
【0027】

- 1 : プラズマ容器
- 2 : 本体
- 3 : 光入射窓
- 4 : 光出射窓
- 5 : 凹面反射面
- 6 : レーザー光通過孔
- 7 : リング部材
- 8 : 金属筒体
- 9 : 金属ブロック
- 10 : 金属筒体
- 11 : 集光レンズ
- 12 : レーザー発振部
- 13 : レーザー共振器
- 14 : ポンピング器
- 15 : 給電装置
- 16 : 制御部
- S : 密閉空間
- F : (凹面反射面の)焦点

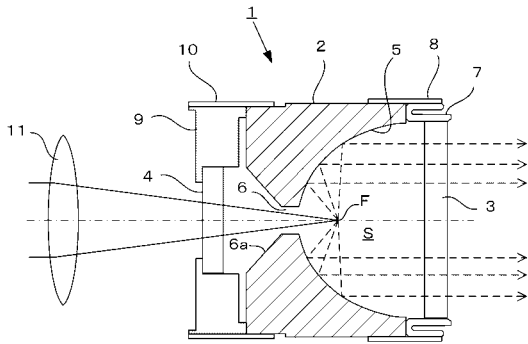
30

40

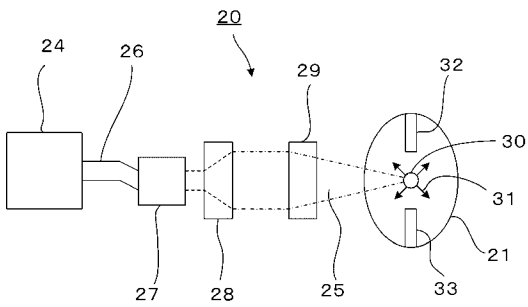
【図1】



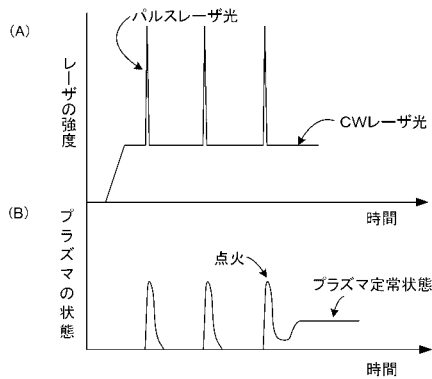
【図2】



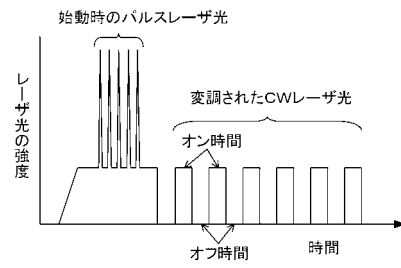
【図5】



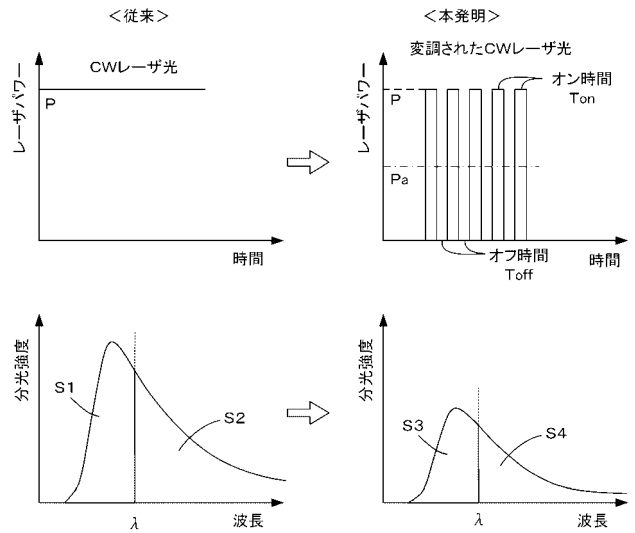
【図6】



【図3】



【図4】



【図7】

