

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5630758号
(P5630758)

(45) 発行日 平成26年11月26日(2014.11.26)

(24) 登録日 平成26年10月17日(2014.10.17)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 S 3/034 (2006.01) H O 1 S 3/03 G

請求項の数 1 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2006-216915 (P2006-216915)	(73) 特許権者	000001236
(22) 出願日	平成18年8月9日(2006.8.9)		株式会社小松製作所
(65) 公開番号	特開2008-42072 (P2008-42072A)		東京都港区赤坂二丁目3番6号
(43) 公開日	平成20年2月21日(2008.2.21)	(73) 特許権者	000102212
審査請求日	平成21年2月10日(2009.2.10)		ウシオ電機株式会社
審判番号	不服2013-14681 (P2013-14681/J1)		東京都千代田区大手町二丁目6番1号
審判請求日	平成25年7月31日(2013.7.31)	(74) 代理人	110000383
			特許業務法人 エビス国際特許事務所
		(72) 発明者	永井 伸治
			神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製作所 研究本部内
		(72) 発明者	柿崎 弘治
			栃木県小山市横倉新田400

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エキシマレーザ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

発振段レーザおよび増幅段レーザからなる2ステージレーザ装置であって、
前記増幅段レーザは、
共に平面型のリア側ミラーと出力側ミラーで構成される共振器であって、前記発振段レーザで生成されるシード光を透過して前記増幅段レーザの当該共振器内に注入するリア側ミラーを備えた共振器と、

前記共振器中に配置されたレーザチャンバと、
前記レーザチャンバ内に互いに対向する1対の放電電極と
を備え、

所望するレーザ出力以上の範囲内で、前記レーザチャンバに設けられた光学素子に照射するレーザビームのエネルギー密度を低下させるように、前記放電電極の電極幅方向に平行となる平面内で拡がるレーザビームの幅を広げるレーザビーム幅拡大手段が備えられ、
前記レーザビーム幅拡大手段は、

前記共振器の前記リア側ミラーと前記出力側ミラーが互いに平行になるように配置して形成した共振器光軸に対して、前記発振段レーザで生成したシード光が、前記放電電極の電極幅方向に平行となる平面内で、所定の傾き角度で、前記増幅段レーザチャンバに傾けて注入するものであって、

かつ、前記レーザチャンバの外部へ出力されるレーザビームの幅を前記放電電極の電極幅よりも大きくし、

10

20

前記レーザビーム幅拡大手段は、さらに前記注入したシード光を、前記放電電極間のゲイン領域の略全領域を通過させること

を特徴とするエキシマレーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガスレーザ装置に関し、特に露光用の高出力のエキシマレーザ装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

10

半導体集積回路の微細化、高集積化につれて、半導体基板の露光装置においては解像力の向上が要請されている。このため、露光用光源から放出されるレーザビームの短波長化が進められている。半導体露光用光源としては、従来の水銀ランプが放出する光より短い波長の光を放出するガスレーザ装置が用いられている。露光用のガスレーザ装置としては、現在は波長248nmの紫外線を放出するKrFエキシマレーザ装置、波長193nmの紫外線を放出するArFエキシマレーザ装置が用いられている。

【0003】

近年は、露光光の短波長化とともに、露光用のエキシマレーザ装置にさらなる高出力化が強く求められる傾向にある。その大きな理由としては、ArFエキシマレーザでの露光の際に用いられるレジストはKrFエキシマレーザでの露光の際に用いられるレジストよりも感度が悪いことや、高スループットの要請があること、などが上げられる。

20

【0004】

高出力のレーザ光を出力するための装置として、一つのレーザチャンバで発振と増幅を兼ねるエキシマレーザ装置がある。このようなエキシマレーザ装置を以下ではシングルチャンバのエキシマレーザ装置と呼ぶ。

【0005】

一方、図1に示す2ステージレーザシステムによる増幅方法がある。

【0006】

2ステージレーザシステムは、狭帯域化したレーザ光を出力するための発振段レーザ10と、その狭帯域化されたレーザビーム（これをシード光という）を増幅するための増幅段レーザ20から構成される。

30

【0007】

実際の2ステージレーザシステムは、レーザ光を増幅する手段の違いにより、MOP方式とMOPA方式の2種類に分けられる。MOP方式のレーザシステムは、共振器を有する増幅段レーザを備える。MOPとはMaster Oscillator, Power Oscillatorの略号であり、インジェクションロック方式（IL方式）とも呼ばれる。一方、MOPA方式のレーザシステムは、共振器を有さない増幅器を備える。MOPAはMaster Oscillator, Power Amplifierの略号である。なお、2ステージシステムの詳細については後述する。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0008】

エキシマレーザ装置の高出力化を実現するためには、たとえば発振周波数が一定の場合、1パルスあたりの出力エネルギーを上げればよい。しかしながら、1パルスあたりの出力エネルギーを高くすると、以下に述べるような問題が発生する。

【0009】

一般に、共振器は、レーザ光を出射する出力側ミラーと、高反射率を持ったリア側ミラーから構成される。出力側ミラーには、片面に数10%の反射率のPR膜（部分反射ミラーコーティング）、もう片方の面にAR膜（反射防止コーティング）が付いている。シングルレーザチャンバのリア側ミラーには、HR膜（全反射ミラーコーティング）が付いており、また、増幅段レーザのリア側ミラーには、90%程度の高反射率のPR膜が付いて

50

いる。増幅段レーザから出力されるレーザ光は、出力側ミラーに到達したレーザ光の一部のみが出力されるため、共振器内部のレーザエネルギーは、外部に出力されるエネルギーよりも数倍高くなる。

【 0 0 1 0 】

たとえばMOPOLシステムの場合、発振段レーザから出力されるレーザビームのエネルギー密度は数 (mJ / cm^2) であるが、増幅段レーザでは、レーザエネルギーが増幅されるので、共振器内部では数 10 (mJ / cm^2) 以上の高エネルギー密度のレーザビームとなる。その結果、高エネルギー密度のレーザビームが増幅段レーザのチャンバのウィンドウを透過するため、ウィンドウの表面および内部におけるレーザ光の吸収量が大きくなりウィンドウは発熱する。この発熱によってウィンドウに熱応力が生じると、たとえば CaF_2 で形成したウィンドウが劣化してしまう。ウィンドウの劣化が一定以上進むと、光学素子としてウィンドウを使用できなくなり、その時点でウィンドウの寿命が尽きる。

10

【 0 0 1 1 】

図 2 は、MOPOLレーザシステムにおける出力エネルギーと光学素子の寿命の関係を示す実験結果である。実験では発振周波数を 4 kHz としている。

【 0 0 1 2 】

図 1 において、従来条件の 1 パルスあたりの出力エネルギーが 12 (mJ) の場合、ウィンドウに照射される平均エネルギー密度は 33.8 (mJ / cm^2) であり、ピークエネルギー密度は 91.4 (mJ / cm^2) である。また、ウィンドウは 14 (Bp1s) 発振まで寿命がある。レーザビーム幅は 0.33 (cm) である。

20

【 0 0 1 3 】

これに対して、新規条件の 1 パルスあたりの出力エネルギーが 15 (mJ) の場合、ウィンドウに照射される平均エネルギー密度は 42.3 (mJ / cm^2) であり、ピークエネルギー密度は 114.2 (mJ / cm^2) である。また、ウィンドウは 1 (Bp1s) 発振で寿命となる。レーザビーム幅は 0.33 (cm) である。

【 0 0 1 4 】

また、出力側ミラーにおいても、従来条件では 24.1 (Bp1s) 発振以上寿命があるのに対し、新規条件では 1 (Bp1s) 発振で寿命となってしまう。

【 0 0 1 5 】

上記比較によれば、出力されるレーザビームの幅が一定の場合、出力エネルギーを従来に対して約 25% 増加させると、たとえばウィンドウの寿命は従来の寿命の 1/4 分の 1 に低下してしまう。この理由としては、出力されるレーザビームの幅が一定であるため、出力エネルギーが増加するとともに、ウィンドウに照射されるピークエネルギー密度あるいは平均エネルギー密度が増加し、ある閾値を越えた時点でウィンドウの劣化が急激に進み、ウィンドウ寿命が急激に低下したことが考えられる。

30

【 0 0 1 6 】

以上のように、MOPOLレーザシステムの増幅段レーザにおいて、出力エネルギーが増加し、共振器内のピークエネルギー密度あるいは平均エネルギー密度が所定の閾値を越えると、増幅段レーザチャンバに設けたウィンドウの寿命あるいは出力側ミラーの寿命は急激に低下する。なお、このことは、原理上、エキシマレーザ装置がシングルレーザチャンバで構成されたレーザ発振器あるいはレーザ増幅器であっても同じである。

40

【 0 0 1 7 】

そこで、ピークエネルギー密度を減らすために、放電電極幅を拡大して、光学素子への照射ビームの断面積を大きくすることが考えられる。

【 0 0 1 8 】

図 3 は放電電極幅を拡大した場合を説明する概念図である。

【 0 0 1 9 】

図 3 において、対向して配置された放電電極 24、25 の従来の放電電極幅 T0 に対して、拡大した放電電極の放電電極幅 T1 は大きくなっている。放電電極 24、25 の間は放電領域であり、この空間でレーザビームが増幅される。発振時には、放電電極 24、2

50

5 間に、図の左側（上流側）から右側方向（下流側）に高速レーザガス 3 が流される。以下において、放電電極間を単にゲイン領域という。

【0020】

しかしながら放電電極幅を拡大すると以下のような問題が発生する。

【0021】

単に放電電極幅を拡大して高繰り返し発振動作した場合、先の発振でゲイン領域に発生した放電生成物の移動が十分になされないうちに次ぎの発振動作が行われるので、放電電極 24、25 の下流側でアーク放電 4 が発生し、出力エネルギーの安定性が悪くなる。

【0022】

そこでアーク放電を防止するために、レーザチャンバに内蔵したファンの回転数 N を上げて、ゲイン領域のレーザガス流速を上げることが考えられる。

【0023】

しかしながら、アーク放電を防止するために、レーザガス流速を放電電極幅 T に比例させた場合、ファンの回転数 N とレーザガス流速は比例するので、ファンの回転数 N と放電電極幅 T は比例する。すなわち、 $N \propto T$ である。

【0024】

ところで一般的に、ファンの消費電流 I はファンの回転数 N の 3 乗に比例するので、ファンの消費電流は放電電極幅 T の 3 乗に比例する。すなわち、 $I \propto T^3$ である。ファンの消費電流は放電電極幅の 3 乗に比例して急激に増加してしまう。現在、ファンの消費電流は上限値に近く、これ以上消費電流を増加させることは困難である。よって、放電電極幅を拡大させてファンの回転数を増加させることは回避したい。

【0025】

本発明は上記した問題に鑑みてなされたものであり、1 パルスあたりの出力エネルギーを従来以上に増加させたとしても、レーザチャンバに設けられた光学素子の劣化を抑制することができるエキシマレーザ装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0026】

以上のような目的を達成するために、

第 1 発明は、所望するレーザ出力以上の範囲内で、レーザチャンバに設けられた光学素子に照射するレーザビームのエネルギー密度を低下させるように、レーザビームの幅を広げるレーザビーム幅拡大手段を有することを特徴とする。

【0027】

第 1 発明について、図 4 (b)、図 5 および図 6 を用いて説明する。

【0028】

図 4 (b) に示すように、共振器光軸 30 に対して、放電電極の軸 32 を傾けることにより、従来の構成に対してゲイン領域幅 W_1 を拡大させることができ、したがって、レーザビーム幅を拡大させることができる。

【0029】

一方、放電電極の軸 32 の傾き角度 θ が増加するに従い、レーザビームはゲイン領域内を長く通過することができなくなる。傾き角度 θ があまり大きくなると、共振器内を反射往復するレーザビームはゲイン領域で有効に増幅されないことが予想される。

【0030】

実験によれば、ゲイン G_0 および注入光量が高ければ、傾き角度が図 5 に示す対角線角度 θ_1 になるまでは、出力エネルギーをほぼ一定に保つことができるが、傾き角度が θ_1 を越えると出力エネルギーは急激に減少してしまう。

【0031】

すなわち図 6 に示すように、傾き角度 θ が増加するにともないレーザビーム幅 B も単調に増加する。一方、出力エネルギー P は、ゲイン G_0 および注入光量が高ければ、対角線角度 θ_1 まではほぼ一定であるが、対角線角度 θ_1 を越えると、出力エネルギー P は急激に減少する。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

そこで、第 1 発明では、図 6 の知見に基づき、所望するレーザ出力以上の範囲内で、レーザチャンバに設けられた光学素子に照射するレーザビームのエネルギー密度を低下させるように、共振器光軸 30 に対する放電電極の軸 32 の傾き角度を設定し、レーザビーム幅を拡大させている。たとえば出力エネルギー一定の条件でレーザビーム幅を最大に拡大するには、放電電極の軸 32 の傾き角度を 1 に設定する。

【 0 0 3 3 】

第 2 発明は、第 1 発明において、前記エキシマレーザ装置はシングルチャンバであることを特徴とする。

【 0 0 3 4 】

第 2 発明を図 4 (b) を用いて説明する。

【 0 0 3 5 】

図 4 (b) において、エキシマレーザ装置はシングルチャンバ構成であり、単一のレーザチャンバ 23 内の放電によりレーザが発振および増幅される。なお、共振器光軸 30 を構成する光学系は図の左側および右側に配置されている。

【 0 0 3 6 】

シングルチャンバのエキシマレーザ装置においても、共振器光軸 30 に対して放電電極の軸 32 を傾けることにより、ゲイン領域幅 W_1 を拡大することができる。その場合、図 6 の知見に基づき傾き角度を設定し、レーザビーム幅を拡大する。

【 0 0 3 7 】

第 3 発明は、第 1 発明において、発振段レーザおよび増幅段レーザからなる 2 ステージレーザ装置の前記増幅段レーザに用いられていることを特徴とする。

【 0 0 3 8 】

第 3 発明を図 4 (b) および図 1 を用いて説明する。

【 0 0 3 9 】

図 4 (b) に示すレーザチャンバ 23 は図 1 の増幅段レーザのレーザチャンバ 23 であり、発振段レーザ 10 で生成されたシード光がレーザチャンバ 23 側に注入され、増幅段レーザ 20 でシード光のエネルギーが増幅される。

【 0 0 4 0 】

この場合においても、共振器光軸 30 に対して放電電極の軸 32 を傾けることにより、ゲイン領域幅 W_1 を拡大することができる。その場合、図 6 の知見に基づき傾き角度を設定し、レーザビーム幅を拡大する。

【 0 0 4 1 】

第 4 発明は、第 2 発明または第 3 発明において、

前記エキシマレーザ装置は、共に平面型のリア側ミラーと出力側ミラーで構成される共振器と、前記共振器中に配置されたレーザチャンバと、前記レーザチャンバ内に互いに対向する 1 対の放電電極とを備え、

前記レーザビーム幅拡大手段は、前記共振器の前記リア側ミラーと前記出力側ミラーが互いに平行になるように配置して形成した共振器の軸と前記放電電極の軸のうち長手方向に平行する軸を、前記放電電極の電極幅方向に平行となる平面内で傾けることを特徴とする

第 4 発明について、図 12 (b) を用いて説明する。

【 0 0 4 2 】

第 4 発明では、図 12 (b) に示すように、チャンバ中心光軸 31 を、共振器光軸 30 に対して傾き角度で傾斜させている。

【 0 0 4 3 】

図 12 (b) によれば、共振器光軸 30 に対してチャンバ中心光軸 31 を傾けたので、それと同時に放電電極 24、25 のゲイン領域も傾くため、共振器光軸 30 方向から見たゲイン領域幅 W_1 は、放電電極の長さを L として、近似的に $W_1 = W_0 + L \sin$ となり、図の上下方向に $L \sin$ 拡大する。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 4 】

ゲイン領域幅が $L \sin$ 拡大するため、これに伴い共振器内で発振（増幅）されるレーザービーム幅も図の上下方向に拡大される。

【 0 0 4 5 】

第 5 発明は、第 3 発明において、

前記エキシマレーザ装置は、共に平面型のリア側ミラーと出力側ミラーで構成される共振器と、前記共振器中に配置されたレーザチャンバと、前記レーザチャンバ内に互いに対向する 1 対の放電電極とを備え、

前記レーザビーム幅拡大手段は、前記共振器の前記リア側ミラーと前記出力側ミラーが互いに平行になるように配置して形成した共振器光軸に対して、前記発振段レーザで生成したシード光を、前記放電電極の電極幅方向に平行となる平面内で、前記増幅段レーザチャンバに傾けて注入することを特徴とする。

10

【 0 0 4 6 】

第 5 発明を図を用いて説明する。

【 0 0 4 7 】

図 1 4 によれば、シード光が共振器光軸 3 0 に対して傾き角度 θ で注入され、出力側ミラー 2 2 に到達する。リア側ミラー 2 1 と出力側ミラー 2 2 との距離を M とすると、注入されたシード光は、リア側ミラー 2 1 から出力側ミラー 2 2 に到達する間に、紙面内縦方に $M \tan \theta$ シフトされる。出力側ミラー 2 2 で反射角度 θ で反射されたレーザビームは、リア側ミラー 2 1 に到達する。リア側ミラー 2 1 に到達する間に、さらに紙面内縦方に $M \tan \theta$ シフトされる。次に、リア側ミラー 2 1 により反射角度 θ で反射されたレーザビームは、出力側ミラー 2 2 に到達する。

20

【 0 0 4 8 】

以下同様に、一定の反射角度 θ で共振器内の反射が繰り返えされるとともに、レーザビームは反射する毎に紙面内縦方に $M \tan \theta$ シフトされる。すなわち、レーザビーム幅は紙面内縦方向に拡大される。

【 0 0 4 9 】

第 6 発明は、第 5 発明において、前記レーザビーム幅拡大手段は、前記注入したシード光を、前記放電電極間のゲイン領域の略全領域を通過させる手段をさらに含むことを特徴とする。

30

【 0 0 5 0 】

第 6 発明では、図 2 3 (b) に示すように、注入されるシード光が部分領域 G_b を通過できるように、破線で示すシード光の位置から、図の下方に G_m だけシフトさせて、実線で示すシード光の位置まで移動させる。

【 0 0 5 1 】

具体的には、注入光軸 3 5 を図の下方に G_m だけシフトするために、レーザ光案内ミラー 3 4 のシード光の光軸の反射位置を、位置 K_0 から位置 K_1 に変更する。反射位置を K_0 から K_1 に変更したことにより、シード光の注入光軸 3 5 は図の下方に G_m だけ移動させられる。

【 0 0 5 2 】

第 7 発明は、第 3 発明において、

前記レーザビーム幅拡大手段は、前記発振段レーザで生成したシード光を、前記放電電極の軸のうち長手方向に平行する軸に対して、前記放電電極の幅方向に平行する平面内で、前記増幅段レーザチャンバに傾けて注入する手段と、

前記注入したシード光を、前記放電電極間のゲイン領域の略全領域を通過させる手段と、

前記リア側ミラーと出力側ミラーのうち一方のミラーを前記放電電極の長手方向に平行する軸に対して直交させて配置するとともに、他方のミラーで反射されたレーザ光が、前記ゲイン領域を通過するように、他方のミラーを配置する手段とを含むことを特徴とする。

40

【 0 0 5 3 】

50

第 8 発明は、第 7 発明において、他方のミラーを配置する手段は、前記放電電極の光軸と前記放電電極の電極幅方向のいずれにも直交する方向を軸として、前記一方のミラーに対して、他方のミラーを傾斜させる手段であることを特徴とする。

【 0 0 5 4 】

第 7 発明および第 8 発明を図 2 4 を用いて説明する。

【 0 0 5 5 】

図 2 4 に示すように、リア側ミラー 2 1 は、放電電極の軸 3 2 に直交するように配置される。一方、出力側ミラー 2 2 は、放電電極 2 4、2 5 と平行する軸を中心として傾き角度 2 で傾斜させ、出力側ミラー 2 2 に到達したレーザ光を反射させている。

【 0 0 5 6 】

第 9 発明は、第 3 発明において、

前記レーザビーム幅拡大手段は、前記リア側ミラーと出力側ミラーの一方のミラーを前記放電電極の長手方向の軸に対して直交させて配置するとともに、

他方のミラーで反射されたレーザ光が、前記放電電極間のゲイン領域から遠ざかるように、他方のミラーを配置する手段であることを特徴とする。

【 0 0 5 7 】

第 1 0 発明は、第 9 発明において、他方のミラーを配置する手段は、前記放電電極の長手方向の軸と前記放電電極の電極幅方向の軸のいずれにも直交する軸を回転中心として、前記一方のミラーに対して、他方のミラーを傾斜させる手段であることを特徴とする。

【 0 0 5 8 】

第 9 発明および第 1 0 発明を図 2 7 を用いて説明する。

【 0 0 5 9 】

図 2 7 に示すように、実施例 6 では、リア側ミラー 2 1 を、放電電極の軸 3 2 に直交するように配置する。そして、リア側ミラー 2 1 に対して、出力側ミラー 2 2 を、放電電極 2 4、2 5 の放電方向を軸として傾き角度 で傾斜させ、出力側ミラー 2 2 に到達したレーザ光を反射させる。

【 0 0 6 0 】

第 1 1 発明は、第 3 発明において、前記レーザビーム幅拡大手段は、前記発振段レーザで生成したシード光を、前記放電電極の電極幅方向に広がるように、前期増幅段レーザのレーザチャンバに注入する手段であることを特徴とする。

【 0 0 6 1 】

第 1 1 発明では、図 2 9 に示すように、図示しない発振段レーザで生成されたシード光を、紙面内の縦方向に広がるように共振器に注入している。

【 0 0 6 2 】

図の上方に偏向するレーザビームは傾き角度 で出力側ミラー 2 2 に到達しその後反射される。一方、図の下方に偏向するレーザビームは傾き角度 で出力側ミラー 2 2 に到達しその後反射される。そのため、反射往復を繰り返すレーザビームのレーザビーム幅は次第に図の上下方向に拡大される。

【 0 0 6 3 】

第 1 2 発明は、第 3 発明において、前記増幅段レーザの前記レーザチャンバと前記出力側ミラーとの間にビームエキスパンダを設けたことを特徴とする。

【 0 0 6 4 】

第 1 2 発明では、図 3 1 に示すように、リア側ミラー 2 1 と出力側ミラー 2 2 で構成される共振器内にレーザチャンバ 2 3 とビームエキスパンダ 3 6 が配置されている。

【発明の効果】

【 0 0 6 5 】

本願第 1 発明～第 1 1 発明のレーザビーム幅拡大手段によれば、レーザビームのビーム幅を拡大することができる。そのため、1 パルスあたりの出力が従来より高いレーザ出力であっても、レーザチャンバに設けられた光学素子に照射されるエネルギー密度を低下させることができるので、ウィンドウの劣化を抑制することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 6 】

なお、第 6 発明の場合、シード光がゲイン領域の大部分を通過できるので、ウィンドウの劣化を抑制できるとともに、放電エネルギーを有効活用することができる。

【 0 0 6 7 】

また、第 7 発明および第 8 発明の場合、ウィンドウの劣化を抑制することができるとともに、共振器内を反射往復するレーザビームがゲイン領域から外れるのを抑制できるので、放電エネルギーを有効活用することができる。

【 0 0 6 8 】

また、第 1 2 発明によれば、ウィンドウの劣化を抑制できるとともに、出力側ミラーの劣化も同時に抑制することができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 6 9 】

以下、本願発明に係る実施形態を図を参照しながら詳細に説明する。

【 0 0 7 0 】

最初に、本願発明を適用するエキシマレーザ装置の基本構造およびその動作について 2 ステージレーザシステムを用いて概説する。なお、本願発明は、以下の実施例に述べるように、シングルレーザチャンバのエキシマレーザ装置にも適用できる。

【 0 0 7 1 】

以下の実施例において、紙面内とは、各図において放電電極の電極幅方向に平行となる平面をいう。また、リア側ミラー 2 1 と出力側ミラー 2 2 が互いに平行に配置される場合は、両ミラー 2 1、2 2 で形成される共振器光軸 3 0 を紙面内横方向とし、紙面内で共振器光軸 3 0 に直交する方向を縦方向とする。両ミラー 2 1、2 2 が互いに平行でない場合は、放電電極 2 4、2 5 の長手方向に平行する軸（放電電極の軸）3 2 を紙面内横方向とし、紙面内で放電電極の軸 3 2 に直交する方向を縦方向とする。なお、本願発明における傾き角度はすべて数（ $mrad$ ）程度の小さな角度を対象としている。傾き角度はすべて放電電極幅方向に平行となる平面における角度である。

【 0 0 7 2 】

（ 2 ステージレーザシステム ）

図 1 は、本発明に係る 2 ステージレーザシステムの概念図である。

【 0 0 7 3 】

図 1 において、2 ステージレーザシステム 1 は、増幅段レーザ 2 0 にレーザ共振器を備えた M O P O（Master Oscillator, Power Oscillator）システムであり、発振段レーザ（M O : Master Oscillator）1 0 と、発振段レーザ 1 0 で発振されたシード光を注入して増幅してレーザ光を出力する増幅段レーザ（P O : Power Oscillator）2 0 とからなる。

【 0 0 7 4 】

増幅段レーザ 2 0 は、共に平板型のリア側ミラー 2 1 と出力側ミラー 2 2 とからなるファブリペローエタロン型共振器を備えており、その間にレーザガスが封止されたレーザチャンバ 2 3 が配置されている。

【 0 0 7 5 】

発振段レーザ 1 0 と増幅段レーザ 2 0 のそれぞれのレーザチャンバ 1 3、2 3 内に設けた放電電極 1 4、1 5 および放電電極 2 4、2 5 のレーザ光軸上には、 CaF_2 等のレーザ発振光に対して透過性がある材料によって形成されたウィンドウ 1 7、1 7 および 2 7、2 7 が、それぞれ互いに平行になるように設けられている。また、ウィンドウ 1 7、1 7、2 7、2 7 は、レーザ光に対して反射損失を低減するためにプリースタ角で配置されている。

【 0 0 7 6 】

発振段レーザ 1 0 は、狭帯域化モジュール 1 1 内のリア側ミラーと出力側ミラー 1 2 とで構成されるレーザ共振器を備えており、その間にレーザガスが封止されたレーザチャンバ 1 3 が配置されている。狭帯域化モジュール 1 1 内には、たとえばプリズムとグレーティングが設けられ、グレーティングがミラーを兼ねる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 7 】

また、発振段レーザ 1 0 と増幅段レーザ 2 0 との間に、レーザ光案内 1 8 が設けられている。レーザ光案内 1 8 は、発振段レーザ 1 0 で生成したシード光を増幅段レーザ 2 0 に案内するため複数のレーザ光案内ミラーを備える。

【 0 0 7 8 】

図 1 において、放電電極 1 4、1 5 および放電電極 2 4、2 5 は、紙面内で手前と奥側に互いに対向して配置してある。これらの 1 対の放電電極 1 4 と 1 5、2 4 と 2 5 にそれぞれ図示しない電源から高電圧パルスが印加されることにより、放電電極 1 4、1 5 および放電電極 2 4、2 5 間に放電が発生する。放電が発生すると放電電極 1 4、1 5 および放電電極 2 4、2 5 間のレーザガスは励起される。すなわち、放電電極 1 4、1 5 および放電電極 2 4、2 5 間の空間がゲイン領域である。レーザ光軸は放電電極 1 4、1 5 および放電電極 2 4、2 5 の長手方向に平行しており、レーザ光がゲイン領域を通過する毎にレーザ光のエネルギーは増幅される。

10

【 0 0 7 9 】

M O P O システムの場合、発振段レーザ 1 0 では、数 (mJ / cm^2) の平均エネルギー密度のレーザビームであるが、増幅段レーザ 2 0 では、数 1 0 (mJ / cm^2) の平均エネルギー密度のレーザビームとなる。また、レーザビーム内のエネルギー密度は均一ではなく、一般的にビームの中央部が高く、ビームの裾野が低くなるように分布している。このため、通常、ピークエネルギー密度は平均エネルギー密度の数倍になる。

20

【 0 0 8 0 】

M O P O システムが K r F エキシマレーザ装置のときは、発振段レーザ 1 0、増幅段レーザ 2 0 のそれぞれのレーザチャンバ 1 3、2 3 は、クリプトン (K r) ガス、フッ素 (F 2) ガスと、ヘリウム (H e) やネオン (N e) 等からなるバッファガスとからなるレーザガスが封止される。また M O P O システムが A r F エキシマレーザ装置のときには、発振段レーザ 1 0、増幅段レーザ 2 0 のそれぞれのレーザチャンバ 1 3、3 は、アルゴン (A r) ガス、フッ素 (F 2) ガスと、ヘリウム (H e) やネオン (N e) 等からなるバッファガスとからなるレーザガスが封止される。

【 0 0 8 1 】

ここでレーザビームおよびゲインに関する用語を説明しておく。

【 0 0 8 2 】

出力側ミラーから出力されるレーザ光のスペクトルには分布があり、中央部にピークエネルギー密度を持ち、中央部から裾野に向かってエネルギー密度が低下する。本願発明というレーザビーム幅は、ピークエネルギー密度に対して 5 % 以上のエネルギー密度を有する領域 (幅) として定義される。また、平均エネルギー密度はレーザビーム幅内のエネルギー密度分布の平均値として定義される。

30

【 0 0 8 3 】

また、ゲイン領域を単位距離 1 (m m) 通過する間にどれだけレーザビームが増幅されるかを示す値を G 0 とする。すなわち G 0 は単位距離当りのゲイン領域の増幅率である。

【 実施例 1 】

【 0 0 8 4 】

図 4 (a) は、従来のエキシマレーザ装置の構成を説明するための概念図である。図 4 (b) は、実施例 1 の構成を説明するための概念図である。なお、説明の都合上、図 4 (a)、(b) において、図 1 の増幅段レーザ 2 0 と共通する部品番号を用いたが、部品番号は部品が機能上同等であることを意味しているだけで、とくに増幅段レーザ 2 0 に限定されるものではなく、シングルチャンバのエキシマレーザ装置に適用してもよい。

40

【 0 0 8 5 】

図 4 (a) に示すように、従来構成のエキシマレーザ装置の場合、共振器光軸 3 0 とレーザチャンバ内に設けた放電電極 2 4、2 5 の長手方向の軸は平行になっている。したがって、共振器光軸 3 0 側からみた紙面内縦方向のゲイン領域幅 W 0 は放電電極の電極幅 T と同じである。すなわち、発振幅はゲイン領域幅 W 0 と同じである。

50

【0086】

これに対して、図4(b)に示すように、実施例1のエキシマレーザ装置の場合、共振器光軸30に対して、放電電極24、25の放電電極の軸32が傾き角度 θ で傾けられる。

【0087】

放電電極24、25の長手方向の長さをLとすると、共振器光軸30側からみたゲイン領域幅をW1とすると、近似的に $W1 = W0 + L \sin \theta$ で表すことができる。すなわち、従来の構成の場合に対してゲイン領域幅を $L \sin \theta$ だけ拡大させることができる。共振器光軸30側からみたゲイン領域幅を拡大させることができるので、共振器内の発振幅を拡大することができる。

10

【0088】

一方、放電電極の軸32の傾き角度 θ が増加するに従い、レーザビームはゲイン領域内を長く通過することができなくなる。すなわち、傾き角度 θ があまり大きくなると、共振器内を反射往復するレーザビームはゲイン領域で有効に増幅されないことが予想される。

【0089】

実験によれば、ゲインG0および注入光量が高ければ、傾き角度が図5に示す放電電極24、25の対角線角度 θ_1 になるまでは、出力エネルギーをほぼ一定に保つことができるが、傾き角度 θ が θ_1 を越えると出力エネルギーは急激に減少してしまう。

【0090】

図6は、傾き角度 θ とレーザビーム幅Bとレーザ光の出力エネルギーPの関係を示す図である。

20

【0091】

横軸は放電電極32の傾き角度 θ であり、縦軸はレーザビーム幅B(任意)またはレーザ出力P(任意)である。なお、図4(b)の構成から明らかなように、放電電極の軸32の正負の傾き角度 θ に対して、レーザビーム幅とレーザ出力は対称である。

【0092】

図6において、レーザビーム幅Bは傾き角度 θ とともに単調に増加する。一方、レーザ光の出力エネルギーPは、ゲインG0が高く、また、シード光の注入光量が高ければ、傾き角度 θ がある程度増加しても変化しない。しかしながら、傾き角度 θ が図5に示す対角線角度 θ_1 を越えると、レーザ光の出力エネルギーが急激に低下している。

30

【0093】

このように、放電電極の傾き角度 θ をあまり大きくすると、所望するレーザ出力が得られないが、傾き角度 θ が対角線角度 θ_1 より小さければ、レーザ光の出力エネルギーをほぼ一定に保ちながら、レーザビーム幅を拡大させることができる。したがって、共振器内に配置した光学素子へのレーザビームの照射面積を拡大することができる。

【0094】

以上のように、実施例1では、所望するレーザ光の出力エネルギー以上の範囲内で、レーザチャンバに設けられた光学素子に照射するレーザビームのエネルギー密度を低下させるように、レーザビームの幅を拡大している。これにより、放電電極幅を変更せずに、1パルスあたりの出力エネルギーを従来以上に増加させたとしても、したがってレーザチャンバに設けられた光学素子の劣化を抑制することができる。

40

【0095】

(計算によるシミュレーション)

ここまでは、ゲインG0の大きさと注入光量の大きさを考慮しなかった。以下において、さらにゲインG0と注入光量をパラメータとして計算したシミュレーション結果を示す。

【0096】

図7は、図4(b)に基づいた実施例1のシミュレーション用モデル図である。

【0097】

図7において、従来の放電電極の軸32は共振器光軸30と平行になっている。共振器光

50

軸 30 方向からみたゲイン領域の幅 W_0 は放電電極幅 T と同じ大きさである。

【0098】

これに対して、本実施例では、放電電極の軸 32' は共振器光軸 30 に対して傾き角度で傾いている。共振器光軸 30 方向からみたゲイン領域の幅 W_1 は、放電電極の長手方向の長さを L として、近似的に $W_1 = W_0 + L \sin$ で表せる。共振器光軸 30 方向からみたゲイン幅は $L \sin$ だけ拡大される。なお、原理上、ゲイン幅はレーザビーム幅より大きい。

【0099】

図 8 は、ゲイン長 L_g に対するピークエネルギー密度およびレーザビーム幅をシミュレーションするためのモデル図である。横軸がゲイン長 L_g である。縦軸がゲイン領域幅 W であり、傾き角度で決定される。設定したゲイン領域 G に対してピークエネルギー密度 E_p およびレーザビーム幅 B をシミュレーションする。

【0100】

図 9 は、図 7 のモデルを用いてゲイン長 L_g とレーザ光の出力エネルギー P の関係をシミュレーションした図である。ただしゲイン G_0 を小（相対値）、増幅段レーザへのシード光の注入エネルギーを小（相対値）とした。なお、放電電極幅を 3 (mm) とした。

【0101】

図 9 によれば、ゲイン長 L_g が約 330 (mm) 以下では、出力エネルギー P は零である。また、ゲイン長 L_g が 330 (mm) を越えると、出力エネルギー P は単調に増加していく。たとえばゲイン長 L_g が 700 (mm) の場合、出力エネルギー P は約 20 (mJ) となっている。すなわち、ゲイン長 L_g が長いほどレーザ光の出力エネルギー P は高くなる。

【0102】

図 10 は、放電電極の傾き角度とレーザビーム幅 B との関係を表すシミュレーションである。ただし、図 8 を考慮して、放電電極の長さ L を 700 (mm)、電極幅 T を 3 (mm) とした。横軸は放電電極の傾き角度 (mrad) であり、縦軸はレーザビーム幅 B (mm) である。

【0103】

図 10 によれば、 B_1 (ゲイン G_0 小、注入エネルギー小の条件) の場合、レーザビーム幅は、放電電極の傾き角度が大きくなるほど低下している。一方、 B_4 (ゲイン G_0 大、注入エネルギー大の条件) の場合、レーザビーム幅は、放電電極の傾き角度が大きくなるほど増加している。すなわち、図 9 によれば、レーザビーム幅を効率的に拡大するには、ゲイン G_0 および注入エネルギーを大きくすればよい。

【0104】

図 11 は、傾き角度に対するピークエネルギー密度およびレーザビーム幅の関係を表すシミュレーションである。ここでは最適な条件である図 10 の B_4 のパラメータ条件を用いた。横軸は放電電極の傾き角度 (mrad) であり、縦軸は右側がピークエネルギー密度 E_p (任意単位)、左側がレーザビーム幅 B (mm) である。なお、放電電極の長さ L を 700 (mm)、放電電極の電極幅 T を 3 (mm) とした。よって対角線角度 θ_1 は 4.3 (mrad) である。

【0105】

図 11 によれば、レーザビーム幅 B は、傾き角度が大きくなるにつれて増加し、傾き角度が 0 ~ 5 (mrad) の範囲では、レーザビーム幅 B は 3 (mm) から 4 (mm) に増加しており、レーザビーム幅 B の拡大率は、 $(4 - 3) / (5 - 0)$ (mm/mrad) = 0.24 (mm/mrad) である。一方、ピークエネルギー密度 E_p は、傾き角度が 4.3 (mrad) になるまでは一定である。傾き角度が 4.3 (mrad) を越えるとピークエネルギー密度は急激に低下する。すなわち、この傾き角度以上になるとゲイン領域の中心部のゲインは急激に減少する。よって、対角線角度 θ_1 近傍がピークエネルギー密度が低下する傾き角度であることがわかる。

【0106】

10

20

30

40

50

図 1 1 によれば、元のレーザビーム幅 3 (mm) に対して、傾き角度 が 4 . 3 (mrad) のときのレーザビーム幅 B は約 4 (mm) である。すなわち、上記シミュレーションによれば、レーザ出力を減少させない条件で、レーザビーム幅 B を元のレーザビーム幅より約 1 (mm) 拡大できることがわかった。計算上では、レーザビーム幅 B は 33% 拡大されたことになる。

【0107】

よって、たとえばレーザ光の出力エネルギーを従来に比べて 33% 増加しても、ウィンドウに照射されるレーザビーム幅 B を従来に比べて 33% 拡大できるので、ウィンドウに照射されるレーザ光のエネルギー密度を従来と同程度以下にすることが計算上では可能となる。

10

【0108】

以上のように、ゲイン幅を拡大するとレーザビーム幅も拡大することがシミュレーションからも明らかになった。シミュレーションにより傾き角度 の具体的な数値を得ることができるので、実験を行う指針とすることができる。

【実施例 2】

【0109】

実施例 1 では、共振器光軸 30 を構成する共振器については特に言及しなかった。

【0110】

実施例 2 は、図 3 の 2 ステージレーザシステム 1 の増幅段レーザ 20 を想定している。

【0111】

実施例 2 では、リア側ミラー 21 と出力側ミラー 22 を互いに平行に配置して形成した共振器光軸 30 に対して、放電電極の長手方向の軸を傾けている。

20

【0112】

図 1 2 (a) は、従来の増幅段レーザ 20 の構成を示す図である。図 1 2 (b) は、実施例 2 における増幅段レーザ 20 の構成を示す図である。また、図 1 2 (c) は実施例 2 の変形例である。

【0113】

図 1 2 (a)、(b)、(c) において、増幅段レーザ 20 に配置されたリア側ミラー 21 と出力側ミラー 22 は互いに平行に配置され、共振器光軸 30 を形成している。

【0114】

図 1 2 (a) に示すように、共振器内部に配置された放電電極 24、25 の長手方向に平行な放電電極の軸 32 は、共振器光軸 30 と平行している。そのため、従来の増幅段レーザ 20 の場合、共振器光軸 30 方向からみて放電電極 24、25 の放電電極幅 T とゲイン領域幅 W0 は一致している。

30

【0115】

これに対し、図 1 2 (b) に示すように、実施例 2 では、共振器光軸 30 に対して、放電電極 24、25 の放電電極の軸 32 を紙面内で傾き角度 で傾斜させている。このように傾斜させるためには、レーザチャンバ 23 を紙面内で反時計周りに回転移動させればよい。

【0116】

図 1 2 (b) によれば、共振器光軸 30 に対してレーザチャンバ 23 を任意に設定した回転軸を中心にして傾けたので、それと同時に放電電極 24、25 のゲイン領域も傾くため、共振器光軸 30 方向から見たゲイン領域幅 W1 は、放電電極の長さを L として、近似的に $W1 = W0 + L \sin$ となり、共振器光軸 30 に直交する紙面内縦方向に $L \sin$ 拡大される。

40

【0117】

ゲイン領域幅が $L \sin$ 拡大するため、これに伴い共振器内で発振(増幅)されるレーザビーム幅も共振器光軸 30 に直交する紙面内縦方向に拡大される。拡大されたレーザビーム幅を B1 とする。レーザビーム幅 B1 は拡大されたゲイン領域幅 W1 より小さい。すなわち、 $W1 > B1$ である。

50

【0118】

以上のように、実施例2によれば、ゲイン領域幅が拡大するに応じて、レーザービーム幅も拡大するので、レーザーチャンバ23に設けたウィンドウ27、27に照射されるレーザービームのエネルギー密度を低下させることができる。

【0119】

図13は、実施例2における実験結果を示す図である。横軸は傾き角度 (mrad) であり、縦軸はレーザービーム幅B (mm) である。

【0120】

図13によれば、レーザービーム幅Bの拡大率は約0.33 (mm/mrad) であり、上記シミュレーションの場合の拡大率0.24 (mm/mrad) よりやや大きい値となっている。よって実施例2では、レーザービーム幅を1 (mm) 拡大するには、傾き角度を約3 (mrad) にすればよい。

10

【0121】

図12(c)は実施例2の変形例である。

【0122】

ここでは、図12(b)の場合と異なり、レーザーチャンバ23を固定しておき、レーザーチャンバ23内の放電電極24、25のみを移動して、共振器光軸30に対して放電電極の軸32を傾き角度 だけ傾けている。

【0123】

図12(c)から明らかなように、共振器光軸30と放電電極の軸32の位置関係に限れば、図12(b)と全く同じ位置関係である。したがって、その作用およびそれによる効果も図12(b)の場合と同じである。よって、変形例の説明については省略する。

20

【0124】

ここまで2ステージレーザーシステムの増幅段レーザを用いて実施例2を説明してきたが、実施例2の発明は、シングルレーザーチャンバにも適用できる。

【0125】

なお、図12(b)、(c)では、レーザーチャンバあるいは放電電極を、紙面内で反時計周りに回転させたが、レーザーチャンバあるいは放電電極を、紙面内で時計周りに回転させてもよいことは明らかである。

【0126】

以上説明したように、実施例2によれば、2ステージレーザーシステムの増幅段あるいはシングルチャンバのエキシマレーザ装置において、所望するレーザ出力以上の範囲内で、ウィンドウに照射するレーザービームのエネルギー密度を低下させるように、レーザービームの幅を設定することができる。

30

【0127】

そのため、1パルスあたりの出力エネルギーを従来以上に増加させたとしても、レーザービーム幅を拡大して、光学素子に照射されるレーザービームのエネルギー密度を低下させることができる。

【0128】

これにより、1パルスあたりの出力エネルギーを従来以上に増加させたとしても、レーザーチャンバに設けた光学素子が劣化するのを抑制することができる。

40

【実施例3】

【0129】

実施例3はシード光を用いるMOPシステムに適用される。

【0130】

(実施例3の基本原理とシミュレーション)

以下に実施例3の基本原理とシミュレーション結果を説明する。

【0131】

図14は、実施例3における共振器内のレーザービームが反射毎にシフトする様子を説明するための概念図である。

50

【0132】

増幅段レーザ20に配置されたリア側ミラー21と出力側ミラー22は互いに平行に配置され、共振器光軸30を形成している。放電電極の軸32は共振器光軸30に平行している。

【0133】

上記構成において、シード光が共振器光軸30に対して傾き角度 θ で注入され、出力側ミラー22に到達する(1パス目という)。リア側ミラー21と出力側ミラー22との距離をMとすると、注入されたシード光は、リア側ミラー21から出力側ミラー22に到達する間に、図の上方に $M \tan \theta$ シフトされる。出力側ミラー22で反射角度 θ で反射されたレーザビームは、リア側ミラー21に到達する。リア側ミラー21に到達する間に、さらに図の上方に $M \tan \theta$ シフトされる。次に、リア側ミラー21により反射角度 θ で反射されたレーザビームは、出力側ミラー22に到達する(2パス目という)。以下同様に、一定の反射角度 θ で共振器内の反射が繰り返されるとともに、レーザビームは反射する毎に図の上方に $M \tan \theta$ シフトされる。

10

【0134】

図15は、実施例3におけるレーザビームの拡大の様子をさらに説明するための概念図である。

【0135】

図15において、中央の斜線部は放電電極24、25のゲイン領域Gである。リア側ミラー21から注入されたシード光(レーザビーム)は、共振器光軸30に対する傾き角度 θ で、ゲイン領域Gの大半を通過し出力側ミラー22に到達する(1パス目)。1パス目のレーザビームは、注入されたレーザビームに対して、図の上方に $M \tan \theta$ シフトされる。

20

【0136】

出力側ミラー22に到達したレーザビームの一部は、1パス目の出力エネルギーP1として、出力側ミラー22を通過して矢印方向Eに出射される。1パス目のレーザビームのイメージを領域G1で示す。

【0137】

出力側ミラー22に到達したレーザビームの大部分は、反射角度 θ で反射され、再びゲイン領域Gを通過し、増幅されてリア側ミラー21に到達する。リア側ミラー21に到達したレーザビームは、反射角度 θ で反射され、再びゲイン領域Gを通過し、増幅されて出力側ミラー22に到達する(2パス目)。2パス目のレーザビームは、注入されたレーザビームに対して図の上方に $3M \tan \theta$ シフトされる。

30

【0138】

出力側ミラー22に到達したレーザビームの一部は、2パス目の出力エネルギーP2として、出力側ミラー22を通過して矢印方向Eに出射される。2パス目のレーザビームのイメージを領域G2で示す。

【0139】

次に、出力側ミラー22に到達したレーザビームの大部分は、反射角度 θ で反射され、再びゲイン領域Gを通過し、増幅されてリア側ミラー21に到達する。リア側ミラー21に到達したレーザビームは、傾き角度 θ で反射され、再びゲイン領域Gを通過し、増幅されて出力側ミラー22に到達する(3パス目)。3パス目のレーザビームは、注入されたレーザビームに対して図の上方に $5M \tan \theta$ シフトされる。

40

【0140】

出力側ミラー22に到達したレーザビームの一部は、3パス目の出力エネルギーP3として、出力側ミラー22を通過して矢印方向Eに出射される。3パス目のレーザビームのイメージを領域G3で示す。以下同様のことが繰り返される。

【0141】

図16は、図15で説明したレーザビームの反射往復の態様を示す図である。

【0142】

50

図 16 において、1 パス目のレーザビームはゲイン領域 G で増幅され出力側ミラー 22 に到達する。すなわち、1 パス目のレーザビームはゲイン領域 G を 1 回通過する。2 パス目のレーザビームはゲイン領域 G を 3 回通過する。3 パス目のレーザビームはゲイン領域 G を 5 回通過する。

【0143】

図 16 の下部には、レーザビームがゲイン領域 G を複数回通過したときのレーザビームの増幅率を表すゲイン G_p を示した。

【0144】

ゲイン G_p は、レーザビームがゲイン領域 G を通過する間に増幅される増加率を表すもので、レーザビームがゲイン領域をどのように通過するかで決定される。ゲイン G_p が大きいほど増幅率が高くなりレーザ光は高出力となる。また、レーザビームがゲイン領域 G から外れる（ゲイン領域 G を通過する経路が短い）ほどゲイン G_p は小さくなる。そこでシミュレーションでは、ゲイン G_p が 0.35 以上になる位置をピークエネルギー密度が 5% 以上になる位置と仮定した。すなわち、ゲイン G_p が 0.35 以上の範囲（幅）がレーザビーム幅に対応する。

【0145】

図 17 は、2 パス目のレーザビームがゲイン領域から外れる場合のモデル図である。

【0146】

図 17 において、レーザチャンバ 23 に傾き角度 θ で注入されたシード光は、斜線部のゲイン領域 G を通過して出力側ミラー 22 に到達し反射される。この間にレーザビームがゲイン領域を通過するゲイン長を L_{g1} とする。反射したレーザビームは、ゲイン領域を通過してリア側ミラー 21 に到達し反射される。この間にレーザビームがゲイン領域を通過するゲイン長を L_{g2} とする。反射したレーザビームはゲイン領域を通過して出力側ミラー 22 に到達し反射される。この間にレーザビームがゲイン領域を通過するゲイン長を L_{g3} とする。3 パス目以後は、反射されたレーザビームはもはやゲイン領域を通過することがなく、増幅されることはない。ゲイン領域でない空間をレーザビームのロス領域という。ロス領域ではレーザ光のエネルギーはロスするのみである。ゲイン長 L_{g1} 、 L_{g2} 、 L_{g3} は傾き角度 θ をパラメータとして決定できる。

【0147】

ここで、単位長さあたりのエネルギーのロスは一定とした。そのため、1 パスにおける吸収長 L_a は共振器長と同じである。

【0148】

図 18 は、代表的なパラメータに基づいてシミュレーションした結果を整理したものである。

【0149】

図 18 では、ゲイン G_0 を小、注入エネルギーを中としている。図によれば、1 パス目のゲイン G_p は 2.16 であり、2 パス目のゲイン G_p は 2.71 であり、3 パス目のゲイン G_p は 3.41 となっており、出力ゲイン G_p は 5.79 である。入力 2 (mJ) に対して出力は 11.6 (mJ) と増加する。

【0150】

図 19 は、図 17 のモデル図を用いて計算した 1 パス目、2 パス目および 3 パス目のゲイン G_p を示す図である。横軸はゲイン領域幅方向の位置 S (mm) であり、縦軸は各パスのゲイン G_p (数値) である。

【0151】

図 19 に示すように、1 パス目および 2 パス目はゲインが高いが、3 パス目はロスが大きいためにゲインは減少している。パスを繰り返す毎にレーザビームがゲイン領域幅の正の方向にシフトしていることがわかる。すなわち、レーザビーム幅は拡大している。

【0152】

図 20 は、図 17 のモデル図におけるすべてのパスのゲイン G_p を積分した結果である。

【0153】

図の横軸はゲイン領域幅方向の位置 S (mm) であり、縦軸は総ゲイン G_s (数値) である。なお、シード光の傾き角度を 0.6 (mrad) とし、放電電極の幅を 3 (mm)、吸収長を 982 (mm)、ゲイン長 L_g を 525 (mm) とした。従来のゲイン領域幅を $-3 \sim 0$ (mm) の間としている。

【0154】

総ゲイン G_s は出力レーザのスペクトルと同じ形状である。図19によれば、ゲインが 0.35 以上の範囲は $-2.84 \sim 0.81$ (mm) となる。すなわち、レーザビーム幅は 3.65 (mm) となり、元のゲイン領域幅 3 (mm) より 0.65 (mm) 拡大している。

10

【0155】

以上、図14～図20によれば、増幅段レーザ20にシード光を傾けて注入することにより、レーザビームの幅を拡大できることが予想される。シード光の注入角度は正でも負でも取ることができる。

(実施例3)

図21(a)は従来の増幅段レーザ20の構成である。図21(b)は実施例2の増幅段レーザ20の構成の図である。

【0156】

図21(a)の場合、増幅段レーザ20に配置されたリア側ミラー21と出力側ミラー22は互いに平行に配置され、共振器光軸30を形成している。

20

【0157】

また、図示しない発振段レーザで生成したシード光が、レーザ光案内部18のレーザ光案内ミラー34により案内され、放電電極の軸32と平行するように、増幅段レーザチャンバ23に注入される。すなわちシード光の注入光軸35は共振器光軸30に平行している。

【0158】

これに対し、実施例4の場合、図21(b)に示すように、増幅段レーザ20の共振器光軸30に対して、シード光の注入光軸35が注入角度 (> 0) を持つように、シード光が注入される。シード光の注入光軸35を傾けるには、レーザ光案内ミラー34を、放電電極24、25の放電方向と平行する軸を中心にして反時計周りに (図の矢印方向D) に回転すればよい。

30

【0159】

図22は、実施例3における実験結果を示す図である。横軸はシード光の注入角度であり、縦軸はレーザビーム幅 B (mm) である。

【0160】

図22によれば、注入角度を負側に变化させたとき、レーザビーム幅の拡大率は約 0.67 (mm/mrad) となることがわかる。よって、たとえば傾き角度を 0.6 (mrad) とした場合、レーザビーム幅 W を約 0.4 (mm) 拡大させることができる。

【0161】

以上のように、実施例3によれば、発振段レーザで生成したシード光を、共振器光軸30に対して角度を有して増幅段レーザ20に注入することにより、レーザビームの幅を拡大することができる。

40

【0162】

よって、1パルスあたりの出力エネルギーを従来以上に増加させたとしても、増幅段レーザチャンバのウィンドウに照射されるレーザビームのエネルギー密度を低下することができるので、増幅段レーザチャンバに設けたウィンドウの劣化を抑制することができる。

【0163】

なお、図21(b)ではレーザ光案内ミラー35を反時計周りに回転させたが、レーザ光案内ミラー35を時計周りに回転させてもよい。

【0164】

50

実施例 3 の場合、出力側ミラー 22 から出力されるレーザ光は、共振器光軸 30 に対して傾き角度 だけ傾いているが、エキシマレーザ装置のレーザ光出口に到達する間に傾き角度を補正することができる。

【実施例 4】

【0165】

実施例 4 は、シード光を用いる MOPPO システムに適用される。

【0166】

図 23 (a) は実施例 3 の図 21 (b) に対応する図である。また、図 23 (b) は実施例 4 の増幅段レーザの構成図である。

【0167】

10

図 23 (a) では、レーザ光案内ミラー 34 を調節して、シード光の注入光軸 35 を共振器光軸 30 に対して傾き角度 で傾けている。なお、シード光の注入光軸 35 がレーザ光案内ミラー 34 で反射される位置を K0 とする。図 23 (a) の場合、注入されたシード光は 1 パス目で斜線部のゲイン領域 G の大半を通過するが、ゲイン領域 G のうち 1 パス目のシード光が通過しない部分領域 Gb は、その後反射往復するレーザ光が通過することではなく、部分領域 Gb の放電エネルギーをレーザ光の増幅（発振）に役立てることができない。部分領域 Gb の紙面内共振器光軸 30 に直交する縦方向の最大長さを Gm とする。

【0168】

そこで実施例 4 では、図 23 (b) に示すように、注入されるシード光が部分領域 Gb を通過できるように、破線で示すシード光の位置から、図の下方に Gm だけシフトさせて、実線で示すシード光の位置まで移動させる。

20

【0169】

具体的には、注入光軸 35 を図の下方に Gm だけシフトするために、レーザ光案内ミラー 34 のシード光の光軸の反射位置を、位置 K0 から位置 K1 に変更する。反射位置を K0 から K1 に変更したことにより、シード光の注入光軸 35 は図の下方に Gm だけ移動させられる。変更後のシード光の注入光軸を 35' とした。

【0170】

計算によれば、例えばシード光の傾き角度を 0.6 (mrad) とした場合、Gm は 0.43 (mm) である。よって、この場合、注入光軸 35 を図の下方に 0.43 (mm) 移動させればよい。図の下方に 0.43 (mm) だけ移動するためのレーザ光案内ミラー 34 の反射位置 K1 は、実験により適宜求めることができる。

30

【0171】

以上のように、実施例 4 によれば、シード光の注入光軸 35 を図の下方に所定距離シフトさせることにより、レーザ光をすべてのゲイン領域 G を通過させることができるので、ゲイン領域 G 全体の放電エネルギーをレーザ光の増幅に使用することができる。

【0172】

これにより、実施例 3 の効果が得られるとともに、実施例 3 に比べて放電エネルギーをより活用できる効果が得られる。

【実施例 5】

【0173】

40

実施例 5 は、シード光を用いる MOPPO システムに適用される。

【0174】

実施例 4 の図 23 (b) の場合、ゲイン領域 G 全体が有効活用される。しかしながら、出力側ミラー 22 に到達したレーザビームは、出力側ミラー 22 がリア側ミラー 21 と互いに平行に配置されているため、注入角度 と同じ大きさの反射角度 で反射される。そのため、共振器内で反射往復を繰り返したレーザビームは、次第にゲイン領域 G から外れる方向（図の上方）にシフトする。すなわち、反射回数が大きくなるとレーザビームはゲイン領域 G で有効に増幅されなくなる。

【0175】

そこで実施例 5 では、ゲイン領域全体を有効活用できる構成にするとともに、共振器内

50

を反射往復するレーザービームがゲイン領域 G から外れるのを抑制する構成としている。

【0176】

図24は、実施例5を説明するための概念図である。

【0177】

図24の場合、図23(b)と同様に、シード光の注入光軸35は、放電電極の軸32に対して傾き角度 θ_1 になるように配置される。また、ゲイン全体を有効活用できるように注入光軸35の位置が最適化されている。

【0178】

図23(b)と異なるところは、共振器を構成するリア側ミラー21および出力側ミラー22の配置である。

【0179】

図24に示すように、リア側ミラー21は、放電電極の軸32に直交するように配置される。一方、出力側ミラー22は、放電電極24、25と平行する軸を中心として傾き角度 θ_2 で傾斜させ、出力側ミラー22に到達したレーザー光を反射させる。このような構成にすることにより、共振器内で反射往復したレーザービームが、図の上部の破線領域で示したレーザービームがシフトした領域に移動するのを抑制することができる。

【0180】

なお、注入光軸35の傾き角度 θ_1 が正であれば、出力側ミラー22を反時計周りに回転させる。また、注入光軸35の傾き角度 θ_1 が負であれば、出力側ミラー22を時計周りに回転させる。

【0181】

図25は、出力側ミラー22近傍の拡大図である。

【0182】

出力側ミラー22に入射する放電電極の軸32に対するシード光の注入角度を θ_1 (>0)、出力側ミラー22の傾き角度を θ_2 (>0)、出力側ミラー22で反射されるレーザービームの放電電極の軸32に対する反射角度を θ_3 (>0)とすると、 $\theta_3 = \theta_1 - \theta_2$ である。すなわち、実施例5では、出力側ミラー22に入射する注入角度 θ_1 より、反射する反射角度 θ_3 をかならず小さくしている。すなわち実施例4の傾けた場合の反射レーザービームZ1は、傾けない場合の反射レーザービームZ0より、低角度で反射される。したがって、反射後のレーザービームは、図の上方にシフトするシフト量が抑制される。

【0183】

しかしながら、傾き角度 θ_2 をあまり大きくして傾き角度 θ_3 を小さくしてしまうと、共振器を反射往復して形成されるレーザービーム幅を拡大することができなくなる。よって実験により最適な傾斜角度 θ_2 を求めておく必要がある。

【0184】

実験によれば、シード光の傾き角度を 0.6 (mrad)としたとき、出力側ミラー22の傾き角度 θ_2 を 0.04 (mrad)にするのが最適であることがわかった。

【0185】

上記設定の場合、出力側ミラー22で反射されるシード光の反射角度は 0.56 (mrad)となる(ここまでが1パス目)。反射されたレーザー光はリア側ミラー21で入射角度と同じ角度、すなわち 0.56 (mrad)の反射角度で反射され、再び出力側ミラー22に入射する。傾き角度 0.56 (mrad)で出力側ミラー22に入射したレーザー光は、出力側ミラー22の傾き角度 θ_2 を差し引いた傾き角度、すなわち傾き角度 0.52 (mrad)で反射される(2パス目)。以下同様に、出力側ミラー22で反射される毎に、レーザー光の反射角度は 0.04 (mrad)ずつ減少していく。それに伴い、レーザービームが反射往復する毎に図の上方にシフトするシフト量も減少することになる。

【0186】

図26は、実施例5における実験結果と図1の従来条件および新規条件の実験結果とを比較した図である。

【0187】

10

20

30

40

50

図 1 でも説明したように、新規条件の場合、出力エネルギーを 15 (mJ) としている。そのとき、ウィンドウに照射される平均エネルギー密度は $42.3 \text{ (mJ/cm}^2\text{)}$ 、ピークエネルギー密度は $114.2 \text{ (mJ/cm}^2\text{)}$ であり、ウィンドウの寿命 1 (Bpl s) 発振である。出力されるレーザビーム幅は 0.33 (cm) である。

【0188】

これに対して、実施例 5 を適用した本願発明では、レーザビーム幅を 0.42 (cm) まで拡大させている。ビーム拡大率は 1.27 である。そのため、本願発明では、ウィンドウに照射される平均エネルギー密度を $33.2 \text{ (mJ/cm}^2\text{)}$ 、ピークエネルギー密度を $89.7 \text{ (mJ/cm}^2\text{)}$ とすることができた。これらの値は図 1 における従来条件の平均エネルギー密度およびピークエネルギー密度と同等である。その結果、ウィンドウの寿命を従来と同じ 14 (Bpl s) までもたせることができた。

10

【0189】

なお、図 2 4 では出力側ミラー 2 2 を傾斜させたが、出力側ミラー 2 2 を放電電極の軸 3 2 に対して直交させて配置し、リア側ミラー 2 1 を傾斜させてもよい。その場合、放電電極の軸 3 2 に対して所定の注入角度 で注入されたシード光が、出力側ミラー 2 2 で最初に反射されるとき放電電極の軸 3 2 に対する反射角度が変わらないことを除けば、その後のレーザビームの反射角度の変化は図 2 3 の場合と全く同じである。

【0190】

以上のように、実施例 5 によれば、レーザビーム幅を拡大することができるとともに、ゲイン領域でレーザ光を往復させることができるので、ゲイン領域の放電エネルギーを有効活用することができる。

20

【0191】

なお、図 2 4 では放電電極の軸 3 2 を紙面内横方向としたが、変形例として、図 2 4 において、さらに放電電極の軸 3 2 を紙面内で回転させてもよい。

【0192】

その場合、出力側ミラー 2 2 で反射されたレーザ光がゲイン領域 G から外れないように放電電極の軸 3 2 を傾ける。すなわち、放電電極の軸 3 2 を時計周りに回転させる。こうすることにより、出力側ミラー 2 2 で反射されたレーザ光がゲイン領域から外れるのを抑制することができる。したがって、図 2 3 の場合よりさらに放電エネルギーを有効活用することが可能になる。

30

【実施例 6】

【0193】

実施例 6 は、MOPPO システムおよびシングルエキシマレーザ装置に適用される。

【0194】

図 2 7 は、実施例 6 を説明するための概念図である。

【0195】

図 2 7 に示すように、実施例 6 では、リア側ミラー 2 1 を、放電電極の軸 3 2 に直交するように配置する。そして、リア側ミラー 2 1 に対して、出力側ミラー 2 2 を、放電電極 2 4、2 5 の放電方向を軸として傾き角度 で傾斜させ、出力側ミラー 2 2 に到達したレーザ光を反射させる。

40

【0196】

なお、図 2 7 では、出力側ミラー 2 2 を時計周りに回転させて傾き角度 を持たせているが、本実施例では、出力側ミラー 2 2 を反時計周りに回転させ傾き角度 を持たせてもよい。

【0197】

図 2 8 は、実施例 6 における共振器内のレーザビームの反射態様を説明するための概念図である。

【0198】

放電電極の軸 3 2 方向に注入されたシード光は、そのまま出力側ミラー 2 2 に到達する (1 パス目)。出力側ミラー 2 2 が傾き角度 で傾斜しているので、傾き角度 の大きさ

50

の反射角度 θ_1 で反射される。リア側ミラー 21 と出力側ミラー 22 の距離を M とすると、ここで反射されたレーザービームは、リア側ミラー 21 に到達するまでに図の上方に $M \tan \theta_1$ シフトされる。リア側ミラー 21 で反射されたレーザービームは、さらに図の上方に $M \tan \theta_1$ シフトされて出力側ミラー 22 に到達する (2 パス目)。出力側ミラー 22 が傾き角度 θ_2 で傾斜しているので、反射角度 θ_1 で入射したレーザービームは、反射角度 $2\theta_2$ で反射される。反射されたレーザービームは、リア側ミラー 21 に到達するまでに図の上方に $M \tan 2\theta_2$ シフトされる。リア側ミラー 21 で反射されたレーザービームは、さらに図の上方に $M \tan 2\theta_2$ シフトされて出力側ミラー 22 に到達する (3 パス目)。以下、出力側ミラー 22 で反射される毎に、反射角度を θ_2 だけ増加させ、同時にシフト量を増加させていく。すなわち、1 パス目、2 パス目、3 パス目等、パスの回数が増加するほどレーザービームは図の上方にシフトされる。すなわち、実施例 6 においてもレーザービーム幅は図の上方に拡大される。

10

【0199】

以上のように、実施例 6 によれば、出力側ミラー 22 から出力されるレーザービームの幅を拡大することができる。よって、共振器内のレーザーチャンバに設けたウィンドウに照射されるレーザービームのエネルギー密度を低下させることができ、ウィンドウが劣化するのを抑制することができる。

【実施例 7】

【0200】

実施例 7 は、シード光を用いる MOPPO システムに適用される。

20

【0201】

図 29 は、実施例 7 を説明するための概念図である。

【0202】

図 29 に示すように、実施例 7 の場合、図示しない発振段レーザで生成されたシード光を、図の紙面内上下方向の広がり角度を有して共振器に注入している。広がり角度は、共振器光軸 30 に平行する光線に対して図の上下方向に偏向する角度であり、図の場合、共振器光軸 30 に対する図の上下方向の傾き角度 θ_1 、 θ_2 の合計角度 $2\theta_2$ が広がり角度である。

【0203】

図 29 によれば、図の上方に偏向するレーザービームは傾き角度 θ_1 で出力側ミラー 22 に到達しその後反射される。一方、図の下方に偏向するレーザービームは傾き角度 θ_2 で出力側ミラー 22 に到達しその後反射される。

30

【0204】

さて、上記 2 つのレーザービームのその後の反射形態は、実施例 3 の、共振器光軸 30 に対してシード光を傾き角度 θ_1 でレーザーチャンバ 23 に注入する場合と全く同じである。すなわち、図の上方に偏向したレーザービームは図の上方にレーザービーム幅を拡大する。同様に、図の下方に偏向したレーザービームは図の下方にレーザービーム幅を拡大する。

【0205】

以上のように、実施例 7 によれば、共振器内を反射往復するレーザービームの幅を拡大することができる。よって、共振器内のレーザーチャンバに設けたウィンドウに照射されるレーザービームのエネルギー密度を低下させることができ、ウィンドウが劣化するのを抑制することができる。

40

【実施例 8】

【0206】

以上の実施例では、共振器を構成するリア側ミラーと出力側ミラーはともに平面型であった。本願発明の場合、共振器を構成するミラーは必ずしも平面型でなくてもよい。

【0207】

図 30 (a) ~ (d) は、実施例 7 を説明するための概念図である。

【0208】

図 30 (a) は、共焦点型ミラー配置の場合であり、同形の凹面鏡であるリア側ミラー

50

２１と出力側ミラー２２は、共焦点を持つように互いの凹面が対向するように配置される。

【０２０９】

図３０（ｂ）は、半共焦点型ミラー配置とした場合であり、凹面鏡である出力側ミラー２２は、リア側ミラー２１に凹面が対向するように配置され、出力側ミラー２２の焦点はリア側ミラー２１の面上に設定される。

【０２１０】

図３０（ｃ）は、半径型ミラー配置の場合である。すなわち、リア側ミラー２１と出力側ミラー２２は、互いに半径を共有する面が対向するように配置される。当然ながら、各ミラーの焦点は半径中心である。

10

【０２１１】

図３０（ｄ）は、リア側ミラー２１と出力側ミラー２２をともに三角プリズムとした場合である。

【０２１２】

以上のような共振器構成を用いても、共振器内でレーザビームを反射往復させることにより、レーザビームの幅を拡大することができる。

【０２１３】

なお、実施例８は、ＭＯＰＯシステムおよびシングルチャンバレーザ装置のいずれにも適用可能である。

【実施例９】

20

【０２１４】

さて、レーザビーム幅を拡大する技術と公知技術のビームエキスパンダ（ＢＥＸ）技術とを組み合わせることにより、出力側ミラー２２に照射されるエネルギー密度をさらに低下させることもできる。以下にその実施例を示す。

【０２１５】

図３１は、実施例９を説明するための概念図である。なお、図ではＭＯＰＯシステムの増幅段レーザで説明するが、シングルチャンバにおいても同様に適用できる。

【０２１６】

図３１において、リア側ミラー２１と出力側ミラー２２で構成される共振器内にレーザチャンバ２３とビームエキスパンダ３６が配置されている。共振器内で反射増幅されるレーザビームは、実施例１～８で説明した技術によりレーザビーム幅を拡大される。

30

【０２１７】

ビームエキスパンダ３６は、楔型の透過性のある光学部品３７、３７がレーザ光軸上に配置されており、レーザ光を拡大することができる。

【０２１８】

実施例９によれば、レーザチャンバ２３側のウィンドウ２７、２７に照射されるレーザビームの幅を拡大できるとともに、出力側ミラー２２に照射されるレーザビームの幅をビームエキスパンダ３６で拡大することができる。

【０２１９】

そのため、出力側ミラー２２に照射されるレーザ光のエネルギー密度を低下させることができるので、高い出力エネルギーが出力側ミラー２２から出力されても、出力側ミラー２２の劣化を抑制することができる。

40

【０２２０】

上記ＭＯＰＯシステムでは、発振段レーザ１０で生成したシード光は、すべてリア側ミラー２１の裏面から注入していた。この方式を裏面注入方式という。本願発明では、シード光の注入方式を裏面注入方式に限ることなく、他の注入方式を適用することができる。

【０２２１】

図３２（ａ）～（ｃ）は、代表的な注入方式を説明するための概念図である。

【０２２２】

図３２（ａ）は、裏面注入方式であり、発振段レーザ１０で生成されたシード光は、レ

50

ーザ光案内ミラー 34、34により案内され、リア側ミラー 21の裏面(図の左側)から増幅段レーザ 20に注入される。

【0223】

図32(b)は、サイド注入方式であり、発振段レーザ 10で生成されたシード光は、レーザ光案内ミラー 34、34により案内され、リア側ミラー 21を介さずに、直接レーザチャンバ 23に注入される。よって、サイド注入方式の場合、リア側ミラー 21を全反射タイプにすることができ、共振器内のレーザエネルギーを効率よく増幅することができる。

【0224】

図32(c)は、前注入方式であり、発振段レーザ 10で生成されたシード光は、レーザ光路変換ミラー 35、35により出力側ミラー 22近傍に案内され、直接レーザチャンバ 23に注入される。よって、前注入方式の場合、リア側ミラー 21を全反射タイプにすることができ、共振器内のレーザエネルギーを効率よく増幅することができる。

【0225】

たとえば、サイド注入方式と前注入方式の場合、リア側ミラー 21と出力側ミラー 22を平行にしておき、シード光を共振器光軸に対してシード光を傾けて注入するのに適している。なお、その場合、両ミラー 21、22の反射角度を調整して、共振器内のレーザビームの幅が最適になるようにしてもよい。

【0226】

なお、以上の実施例においては、放電電極幅を変更せずに、ゲイン領域幅を拡大することによりレーザビーム幅を拡大していた。場合によっては、放電電極幅を拡大してゲイン領域幅を拡大することにより、結果的にレーザビーム幅を拡大するようにしてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0227】

本発明のエキシマレーザ装置は、大出力を伴う微細加工用のレーザ源として、半導体製造に限られずあらゆる分野に応用できる。

【図面の簡単な説明】

【0228】

【図1】本発明に係る2ステージレーザシステムの概念図である。

【図2】MOPOLレーザシステムにおける出力エネルギーと光学素子の寿命の関係を示す実験結果である。

【図3】放電電極幅を拡大した場合の概念図である。

【図4】(a)は、従来のエキシマレーザ装置の構成を説明するための概念図である。(b)は、実施例1の構成を説明するための概念図である。

【図5】放電電極の長手方向の長さLと放電電極幅Tで決定される対角線角度 θ_1 を示す図である。

【図6】傾き角度 θ とレーザビーム幅Bとレーザ光の出力エネルギーPの関係を示す図である。

【図7】実施例1のシミュレーション用モデル図である。

【図8】ゲイン長Lgに対するピークエネルギー密度およびレーザビーム幅をシミュレーションするためのモデル図である。

【図9】図8のモデルを用いてゲイン長Lgとレーザ光の出力エネルギーPの関係をシミュレーションした図である。

【図10】放電電極の傾き角度 θ とレーザビーム幅Bとの関係を表すシミュレーションである。

【図11】傾き角度に対するピークエネルギー密度およびレーザビーム幅の関係を表すシミュレーションである。

【図12】(a)は、従来の増幅段レーザ 20の構成を示す図である。(b)は、実施例2における増幅段レーザ 20の構成を示す図である。(c)は実施例2の変形例である。

【図13】実施例2における実験結果を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 1 4】実施例 3 における共振器内のレーザビームが反射毎にシフトする様子を説明するための概念図である。

【図 1 5】実施例 3 におけるレーザビームの拡大の様子をさらに説明するための概念図である。

【図 1 6】図 1 5 で説明したレーザビームの反射往復の態様を示す図である。

【図 1 7】2 パス目のレーザビームがゲイン領域から外れる場合のモデル図である。

【図 1 8】代表的なパラメータに基づいてシミュレーションした結果を整理したものである。

【図 1 9】図 1 7 のモデル図を用いて計算した 1 パス目、2 パス目および 3 パス目のゲイン G_p を示す図である。

10

【図 2 0】図 1 7 のモデル図におけるすべてのパスのゲイン G_p を積分した結果である。

【図 2 1】(a) は従来の増幅段レーザ 2 0 の構成である。(b) は実施例 2 の増幅段レーザ 2 0 の構成の図である。

【図 2 2】実施例 3 における実験結果を示す図である。

【図 2 3】(a) は実施例 3 の図 2 2 (b) に対応する図である。(b) は実施例 4 の増幅段レーザの構成図である。

【図 2 4】実施例 5 を説明するための概念図である。

【図 2 5】出力側ミラー 2 2 近傍の拡大図である。

【図 2 6】実施例 5 における実験結果と図 1 の従来条件および新規条件の実験結果とを比較した図である。

20

【図 2 7】実施例 6 を説明するための概念図である。

【図 2 8】実施例 6 における共振器内のレーザビームの反射態様を説明するための概念図である。

【図 2 9】実施例 7 を説明するための概念図である。

【図 3 0】(a) は、共焦点型ミラー配置の場合の図であり、(b) は、半共焦点型ミラー配置とした場合の図であり、(c) は、半径型ミラー配置の場合の図であり、(d) は、リア側ミラー 2 1 と出力側ミラー 2 2 をともに三角プリズムとした場合の図である。

【図 3 1】実施例 9 を説明するための概念図である。

【図 3 2】(a) は、裏面注入方式を説明する図であり、(b) は、サイド注入方式を説明する図であり、(c) は、前注入方式を説明する図である。

30

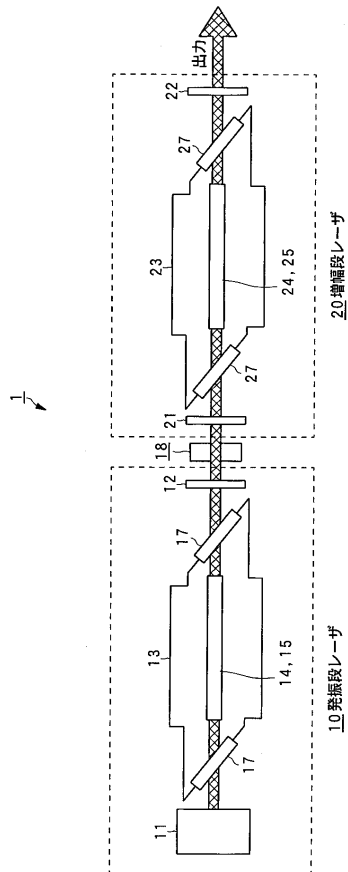
【符号の説明】

【0 2 2 9】

E_p	ピークエネルギー密度
G	ゲイン領域
L	放電電極の長さ
M	リア側ミラーと出力側ミラーとの距離
	傾き角度 (反射角度)
$M O P O$	Master Oscillator, Power Oscillator
1 0	発振段レーザ
2 0	増幅段レーザ
2 1	リア側ミラー
2 2	出力側ミラー
2 3	レーザチャンバ
2 4、2 5	放電電極
3 0	共振器光軸
3 2	放電電極の軸
3 4	レーザ光案内ミラー
3 5	注入光軸

40

【図 1】

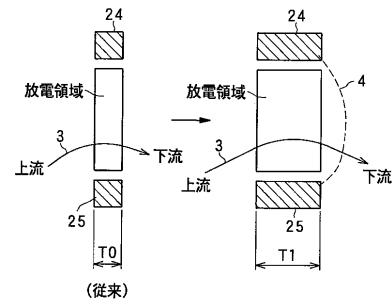


【図 2】

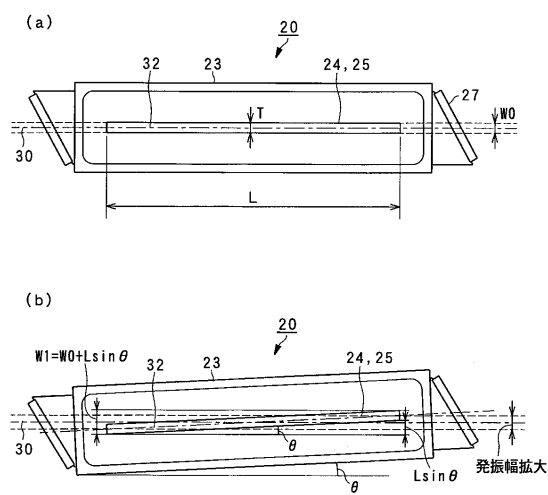
項目	単位	従来	新規
1 パルスエネルギー	mJ	12	15
AFM内側平均エネルギー密度	mJ/cm ²	46.2	57.8
AFM内側ピークエネルギー密度	mJ/cm ²	124.8	156.0
AFM寿命	Bpis	>24.1	1
ウィンドウ平均エネルギー密度	mJ/cm ²	33.8	42.3
ウィンドウピークエネルギー密度	mJ/cm ²	91.4	114.2
ウィンドウ寿命	Bpis	14	1
レーザービーム幅	cm	0.33	0.33

(注) AFM : 出力側ミラー

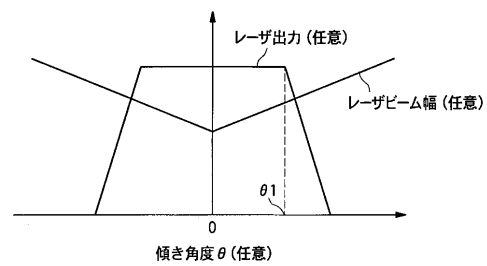
【図 3】



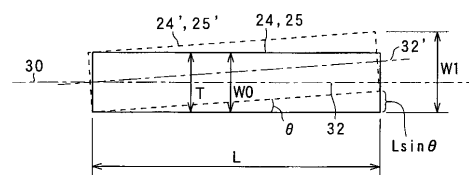
【図 4】



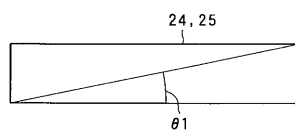
【図 6】



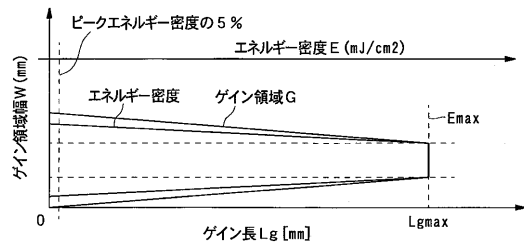
【図 7】



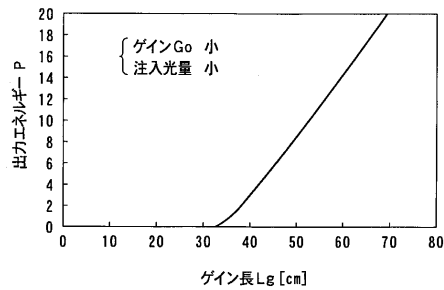
【図 5】



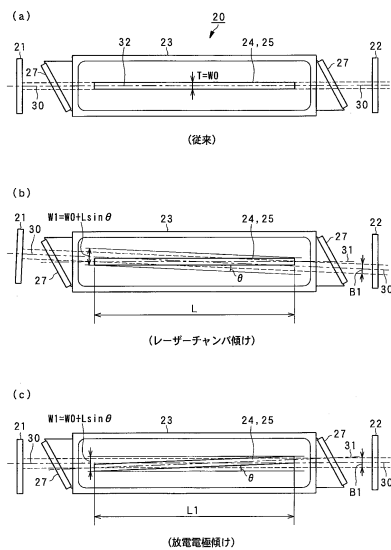
【図 8】



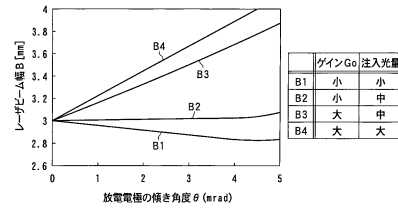
【図 9】



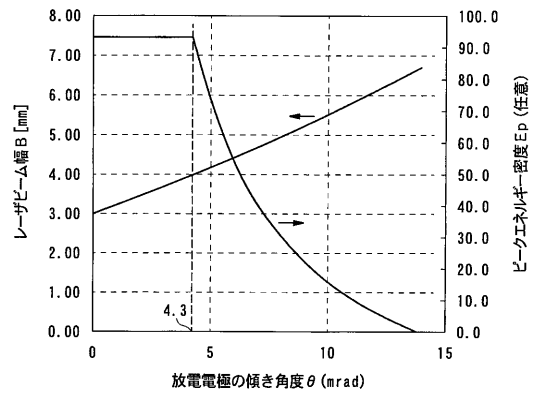
【図 12】



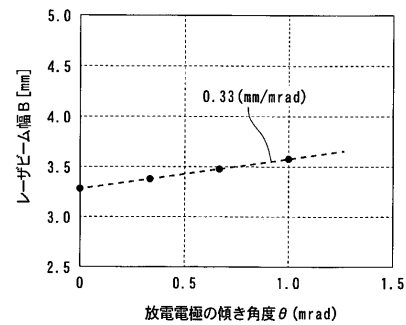
【図 10】



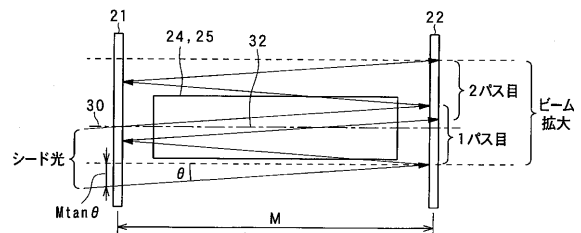
【図 11】



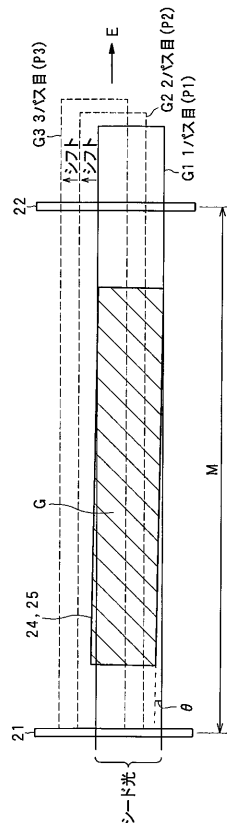
【図 13】



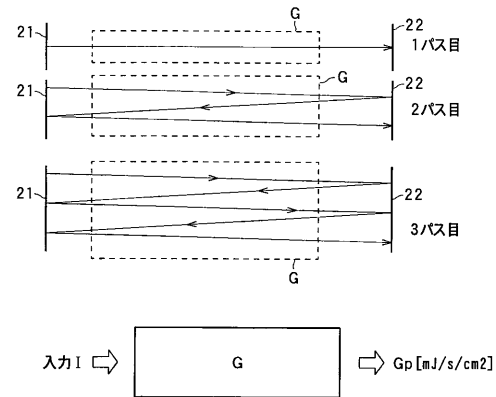
【図 14】



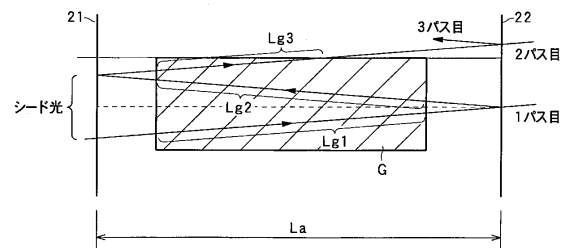
【図15】



【図16】



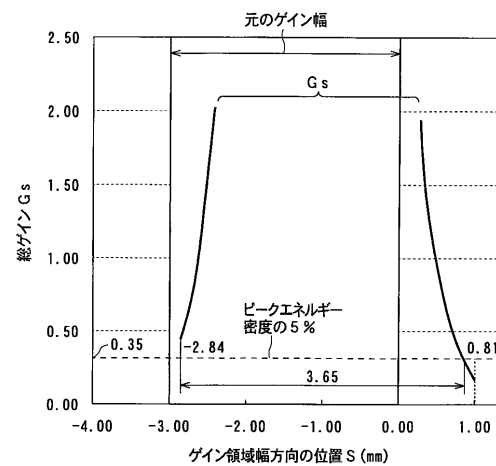
【図17】



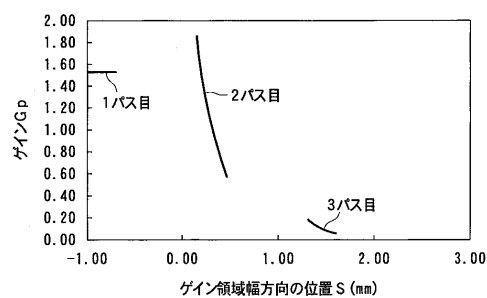
【図18】

	ゲイン領域	ロス領域
θ [mrad]	0.3	0.3
ゲイン長 L_g [mm]	0.9	0.9
吸収長 L_a [mm]	0.6	0.6
ゲイン G_a [mm ⁻¹]	525	0
注入エネルギー [mm ⁻¹]	982	982
1往復ゲイン	小	小
1/4目ゲイン	中	中
2/4目ゲイン	1.26	0.10
3/4目ゲイン	2.16	0.61
出力ゲイン	2.71	0.06
5%	3.41	0.01
入力 I_0 [mJ]	5.79	0.48
I_0 [mJ/s/mm ²]	0.29	2.0
I [mJ/s/mm ²]	1.4E+06	1.4E+06
出力 I [mJ]	8.0E+06	6.6E+05
	11.6	10

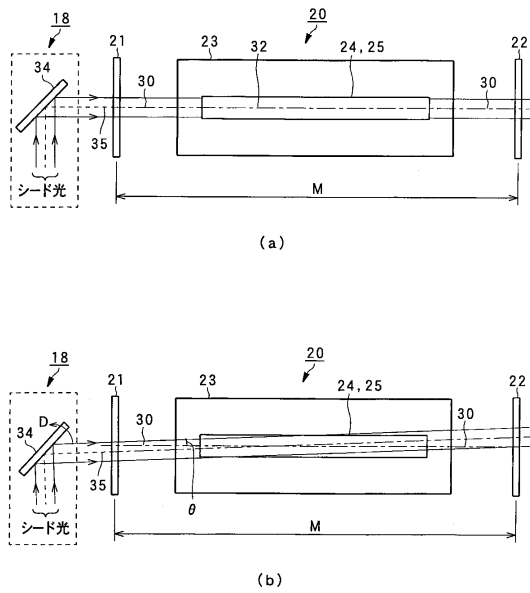
【図20】



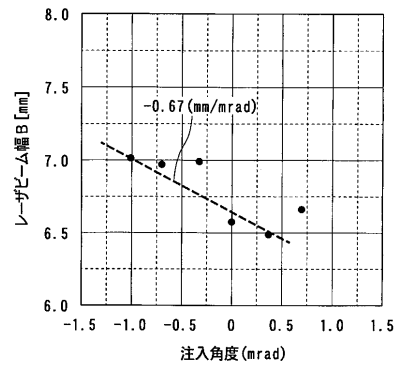
【図19】



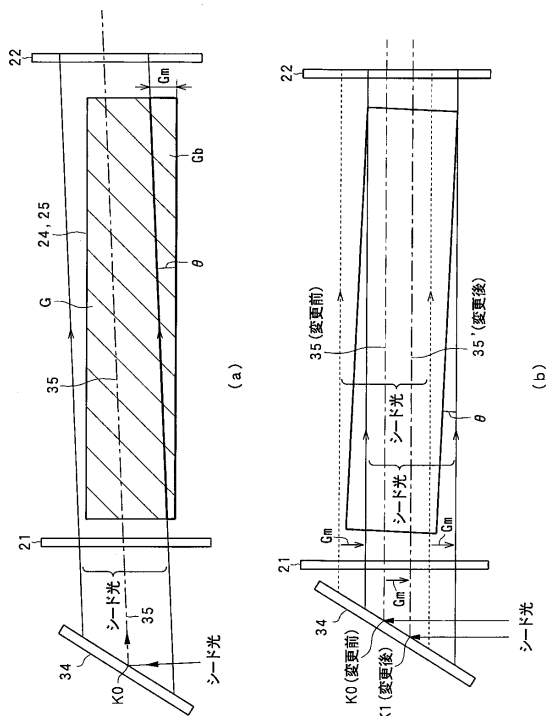
【図 2 1】



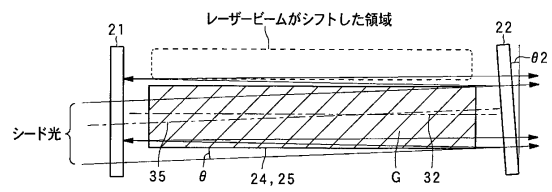
【図 2 2】



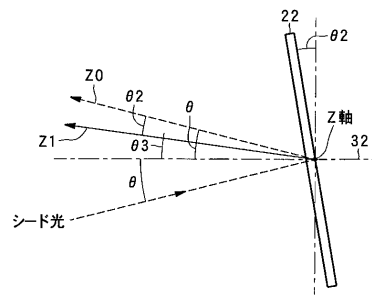
【図 2 3】



【図 2 4】



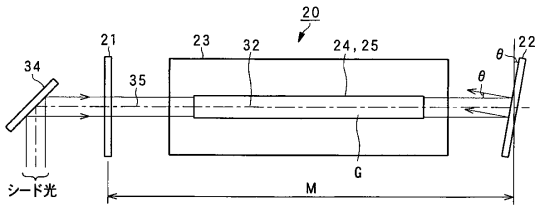
【図 2 5】



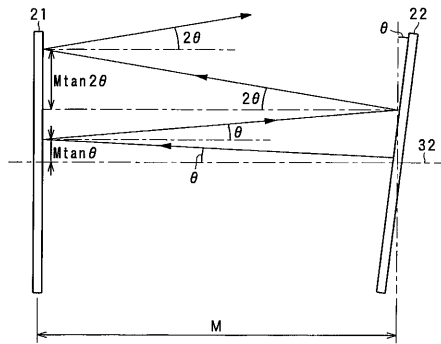
【図 26】

項目	単位	従来	新規	本発明
1パルスエネルギー	mJ	12	15	15
ビーム幅	cm	0.33	0.33	0.42
ウインドウ平均エネルギー密度	mJ/cm ²	33.8	42.3	33.2
ウインドウピークエネルギー密度	mJ/cm ²	91.4	114.2	89.7
ウインドウ寿命	Bps	14	1	14
ビーム幅拡大率	倍			1.27
ビーム幅増加量	cm			0.09

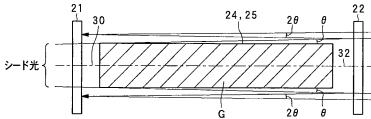
【図 27】



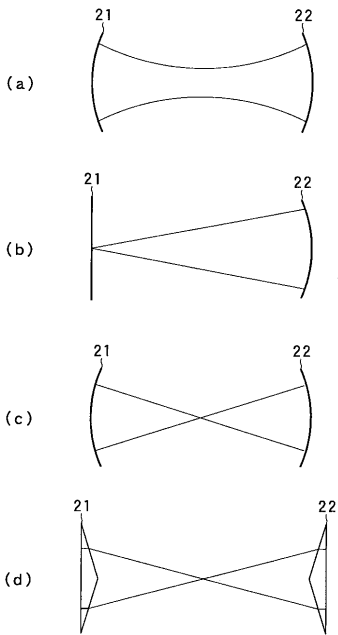
【図 28】



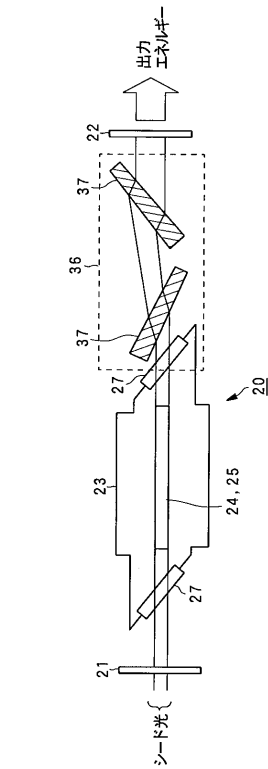
【図 29】



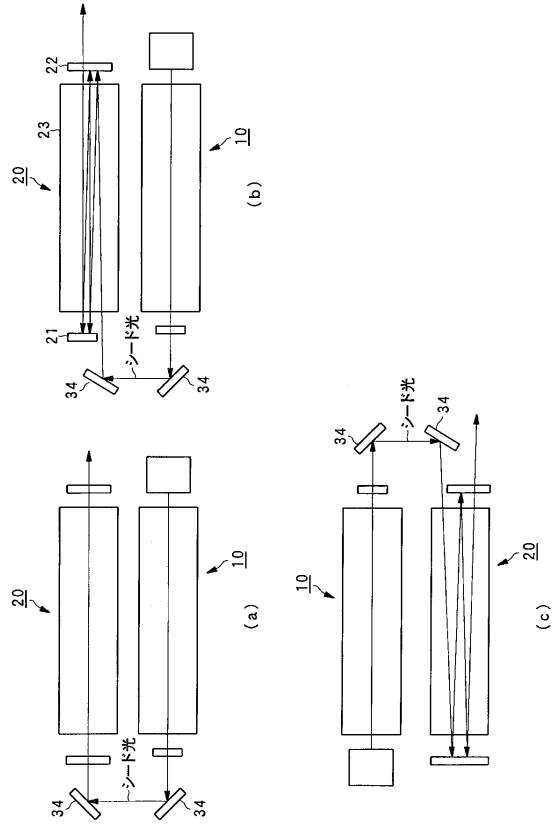
【図 30】



【図 31】



【図 32】



フロントページの続き

- (72)発明者 堀 司
神奈川県平塚市万田 1 2 0 0 株式会社小松製作所 研究本部内
- (72)発明者 田中 智史
栃木県小山市横倉新田 4 0 0

合議体

審判長 小松 徹三

審判官 吉野 公夫

審判官 近藤 幸浩

- (56)参考文献 特開平 0 5 - 1 3 6 4 8 8 (J P , A)
特開平 1 1 - 3 3 0 5 9 2 (J P , A)
国際公開第 2 0 0 4 / 0 9 5 6 6 1 (W O , A 1)
特開 2 0 0 1 - 3 3 2 7 9 4 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H01S 3/00-3/30