

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3956447号
(P3956447)

(45) 発行日 平成19年8月8日(2007.8.8)

(24) 登録日 平成19年5月18日(2007.5.18)

(51) Int.Cl.

F I

G O 2 F 1/35 (2006.01)

G O 2 F 1/35

H O 1 S 3/108 (2006.01)

G O 2 F 1/35 5 O 2

H O 1 S 3/108

請求項の数 4 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平9-283440
 (22) 出願日 平成9年10月16日(1997.10.16)
 (65) 公開番号 特開平11-121879
 (43) 公開日 平成11年4月30日(1999.4.30)
 審査請求日 平成16年10月4日(2004.10.4)

前置審査

(73) 特許権者 000102212
 ウシオ電機株式会社
 東京都千代田区大手町2丁目6番1号
 (74) 代理人 100100930
 弁理士 長澤 俊一郎
 (72) 発明者 堀口 昌宏
 茨城県つくば市東光台5-2-4 株式会
 社ウシオ総合技術研究所内

審査官 岡田 吉美

(56) 参考文献 特開平07-170009(JP, A)
 特開平07-122483(JP, A)
 特開平07-263780(JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 インジェクション・シーディングを用いた露光用レーザ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

Y L F レーザ光源と、

このY L F レーザ光源から放出される光の2倍波により励起されるチタンサファイアレーザ光源と、

Y L F レーザ光源から放出される光を2倍波に波長変換する非線形光学結晶と、

チタンサファイアレーザ光源から放出される光を3倍波に波長変換する非線形光学結晶と、

上記Y L F 光源から放出される光と上記非線形光学結晶から放出される光とが入射し、両者の和周波を放出する和周波結晶と、

和周波結晶から放出された光が入射し、この入射した光を誘導ラマン効果によって波長が略157nmとなるように波長変換する、水素が封入されたセルとから構成され、

波長が略157nmの光を放出するコヒーレント光源。

【請求項2】

Y A G レーザ光源と、

このY A G レーザ光源から放出された光が入射し、この入射した光を5倍波に波長変換する非線形光学結晶と、

この非線形光学結晶から放出された光が入射し、この入射した光を誘導ラマン効果によって波長が略157nmとなるように波長変換する、水素が封入されたセルとから構成され、

10

20

波長が略 157 nm の光を放出するコヒーレント光源。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 のいずれかに記載のコヒーレント光源と、

上記コヒーレント光源から放出される光をシード光として注入同期されて動作し、波長が 190 nm 以下の光を放出するガスレーザ光源とから構成されることを特徴とする露光用レーザ装置。

【請求項 4】

上記ガスレーザ光源が F_2 レーザであることを特徴とする請求項 3 に記載の露光用レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

10

【0001】

【発明の属する技術分野】

近年半導体装置の集積度はますます上がり、要求される線幅は狭くなるとともに、露光に必要とされる波長は短くなっている。

本発明は上記した線幅の狭い半導体装置等の製造に使用される露光用レーザ装置に関し、特に本発明は発振波長が狭帯域であるインジェクション・シーディングを用いた露光用レーザ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

半導体の製造に用いられるステッパーには、現在、 KrF レーザが光源として使われている。これは、現在 256 MB の DRAM の製造がメインであり、その線幅は 0.25 ミクロンのためである。

20

今後、1 GB の DRAM の製造には、0.18 ミクロンの線幅が必要となり、これには ArF エキシマレーザが使用される。半導体の歴史から見て、集積度はますます上がり、4 GB の時代には 0.13 ミクロンが要求され、このとき必要な波長は 150 nm 程度と見込まれ、この光源としては、 F_2 レーザが有望であるといわれている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、現状では F_2 レーザは発振するものの、その線幅の制御、波長の安定化にはまだ見通しが立っていない。特に、 F_2 レーザは自然光増幅 (ASE, Amplified Spontaneous Emission) が強く、線幅を狭くする適当な手段がない。

30

F_2 レーザを露光に適用するには狭帯域化が必要となるが、 F_2 レーザにおいては、共振器内を一回程度しか光が往復しないため、従来のエキシマレーザで行われていたようにエタロン等を共振器内に入れて狭帯域化することはできない。

本発明は上記した事情に鑑みなされたものであって、 F_2 レーザのように 190 nm 以下の光を放出するガスレーザ光源の波長の安定化および狭帯域化を容易に行うことができる露光用レーザ装置を提供することである。

【0004】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明においては、波長 190 nm 以下の光を放出する F_2 レーザ等のガスレーザを別のレーザで制御するインジェクション・シード法を用いた。

40

通常、レーザの発振のきっかけは自然放出光である。自然放出光の内、レーザの共振器に合致した波長の光が増幅され、次第に大きくなって発振に至る。この自然光の代わりに、ほかのレーザからの光を予め共振器に導入しておく、このレーザ光が種となって発振が起こる。これをインジェクション・シードという。

また、種となるレーザをシードレーザ (またはシーダー) といい、インジェクションシードされるレーザをスレーブレザと呼ぶ。

【0005】

インジェクション・シードの特徴は次の通りである。

(1) スレーブレザはシードレーザと全く同じ波長で発振する。

50

これは引き込み現象とよばれるもので、スレーブレーザの共振器のモードとシードレーザの波長がずれている場合でも、スレーブレーザは自分の共振器で決まる波長でなく、シード光の波長で発振する。

(2) シードレーザの強度はごく弱くてよい。

上記のように、種となるレーザ光が最初から存在すればよいわけで、実際の例として、 $1\mu\text{J}$ のシード光で 80mJ の出力を得たという報告がある。

したがって、インジェクション・シード法によれば上記ガスレーザのシードとなるレーザの波長の安定化、狭帯域化を図ればよい。このため、容易に波長の安定化、狭帯域化を行うことができる。また、シードとして波長安定化した固体レーザを用いれば、寿命の長い安定なリソグラフィ用光源を得ることができる。

10

ここで、問題となるのは、如何にして上記ガスレーザと同じ波長のシード光を発生させるかにある。本発明においては、上記ガスレーザと同じ波長のシード光を発生させるために「誘導ラマン効果」を用いた。

【0006】

図1は本発明の基本構成を示す図である。同図において、1はコヒーレント光源であり、コヒーレント光源1は発振波長が狭帯域であるパルス発振するレーザ光源と、非線型光学結晶/波長変換手段から構成され、非線型光学結晶はレーザ光源が出力する光の高調波もしくは和周波を発生し、波長変換手段は、誘導ラマン効果を利用して光の波長変換を行う。

2はコヒーレント光源1から放出されるシード光が注入同期され動作する F_2 レーザ等のガスレーザ光源であり、ガスレーザ光源2は波長が 190nm 以下のパルス光を放出する。3は上記コヒーレント光源1が放出する光の波長安定化を行う波長安定化手段である。

20

【0007】

上記コヒーレント光源1から放出されるパルス光の立ち上がりタイミングと、上記ガスレーザ光源2の発振パルスの立ち上がりタイミングは、タイミング調整手段4により調整され両者の同期がとられる。

上記ガスレーザ光源2として F_2 レーザを用いる場合、図2に示すように上記コヒーレント光源1およびその波長安定化手段3として下記のものを使用することができる。

【0008】

▲1▼ YLFレーザ光源を使用し、その発振波長をアルゴン原子(Ar I)により 1047.005nm に波長安定化し、第1コヒーレント光とする。

30

また、上記YLFレーザ光源の出力光の2倍波により励起されるチタンサファイアレーザ($\text{Ti:Al}_2\text{O}_3$)光源を用い、その出力光をネオン原子(Ne I)により 742.517nm に波長安定化し、その3倍波を第2コヒーレント光とする。そして、上記第1コヒーレント光と第2コヒーレント光の和周波(波長 196.240nm)を得たのち、誘導ラマン効果を用いた波長変換手段により上記和周波を波長変換し、 F_2 レーザの発振波長(157.63nm)に近い、波長 157.672nm (3次反ストークス光)のシード光を得る。

【0009】

▲2▼ YAGレーザ光源の2倍波をサマリウム原子(Sm I)により 532.061nm に光安定化し、YAGレーザ光源の出力光(波長 1064.122nm)の5倍波(波長 212.824nm)を得る。そして、上記波長 212.824nm の光を誘導ラマン効果を用いた波長変換手段により波長変換し、 F_2 レーザの発振波長(157.63nm)に近い、 157.215nm (4次反ストークス光)のシード光を得る。

40

【0010】

ここで、誘導ラマン効果とは、分子振動や回転などの準位との相互作用により波長がシフトする現象をいい、通常は入射光よりも長い波長のストークス線が発生する。しかし、レーザ等の強い入射光で照射した場合は、波長が短い方へシフトする反ストークス線が出るようになる。このとき、このストークス線は入射光との位相関係を保つ方向に強められ、コヒーレントな光として放出される。

50

ラマンシフトが一番大きくなるものは水素分子 (H_2) であり、その波長シフト量は 4155 cm^{-1} (cm^{-1} はカイザといい、 1 cm 当たりの波の数を表す) である。図 3 に示すように、 ω_L の振動数のレーザ光がラマンセルから構成される波長変換手段に入射した場合、波長変換手段の出射側には、 $\omega_L \pm n\omega_s$ (n は整数) の振動数の光がでてくる。

【0011】

図 4 (a) は水素分子によるラマンシフトを示す図であり、波長変換手段の出力側の波長が、 F_2 レーザ光源の発振波長 (157.63 nm) となる波長変換手段の入力側の波長および波数を示している。同図中の n は反ストークス線の次数を示しており、次数が高くなる程、光の減衰が大きくなる。

図 4 (a) において、例えば 3 次の反ストークス光を用いる場合、波長変換手段 2 に波長が 196.18 nm (50975 cm^{-1}) の光を入射させることにより、 157.63 nm (63440 cm^{-1}) の光を出射させることができる。

また、同様に波長が 213.59 nm の光を波長変換手段 2 に入射させることにより、4 次の反ストークス光として 157.63 nm の光を得ることができる。

【0012】

したがって前記図 2 の $\blacktriangle 1 \blacktriangledown$ の場合には、波長 196.240 nm の光を波長変換手段に入射させているので、波長変換手段から 3 次の反ストークス光として、 F_2 レーザ光源の発振波長 157.63 nm にほぼ等しい波長 157.672 nm の光を得ることができる。

また、前記図 2 の $\blacktriangle 2 \blacktriangledown$ の場合には、波長 212.824 nm の光を波長変換手段に入射させているので、波長変換手段から 4 次の反ストークス光として、 F_2 レーザ光源の発振波長 157.63 nm にほぼ等しい波長 157.215 nm の光を得ることができる。すなわち、YAG レーザ光源の出力光の 5 倍波 (波長 212.824 nm) をラマンセルから構成される波長変換手段に入力した場合、1 次～4 次反ストークス光の波長および波数は図 4 (b) に示すようになり、波長変換手段から放出される 4 次反ストークス光は F_2 レーザ光源の発振波長 157.63 nm にほぼ等しい波長となる。

【0013】

F_2 レーザから構成されるガスレーザ光源 2 は、波長変換手段から上記波長の狭帯域のシード光が注入されると、シード光と同じ発振波長で発振し、狭帯域の上記波長の光を放出する。

本発明においては、上記のように、コヒーレント光源 1 において、パルス発振し発振波長が狭帯域であるレーザ光源 2 が放出する光を波長安定化手段 3 で波長安定化し、誘導ラマン効果を用いた波長変換手段により波長変換して、ガスレーザ光源 2 の発振波長とほぼ等しい波長の光を得て、これをシード光としてガスレーザ光源 2 に注入し、ガスレーザ光源 2 を発振させているので、ガスレーザ光源 2 が放出する光を狭帯域化することができるとともに、その発振波長を安定化することができる。

【0014】

【発明の実施の形態】

図 5 は本発明の第 1 の実施例を示す図であり、本実施例は前記図 2 の $\blacktriangle 1 \blacktriangledown$ に示した YLF レーザ光源とチタンサファイア光源を用いる場合の構成を示している。

図 5 において、YLF レーザ光源 12 は励起用半導体レーザ 11 により励起されてパルス発振する。YLF レーザ光源 12 が放出する光の一部がビームスプリッタ B s 1 で取り出されアルゴン原子 ($Ar I$) を封入した吸収セル C e 1 (原子の吸収スペクトルを用いる場合は放電管が使用される) 中を透過する。上記吸収セル C e 1 内を光が通過するとき、アルゴン原子 ($Ar I$) は通過する光を吸収し、上の準位に遷移する。このとき、吸収される光は波長はアルゴン原子の場合、 1047.005 nm である。

上記吸収セル C e 1 中を透過する光は、検出器 D t 1 に入射し、電気信号に変換される。このため、YLF レーザ光源 12 が放出する光の波長が 1047.005 nm からずれると、検出器 D t 1 の出力が変化する。

【0015】

10

20

30

40

50

検出器 D t 1 の出力は波長制御回路 C n 1 に入力され、波長制御回路 C n 1 は電歪素子 P Z T によりシーディング用半導体レーザ 1 3 のグレーティングミラーを変位させ、その発振波長を制御する。

Y L F レーザ光源 1 2 はシーディング用半導体レーザ 1 3 と同一の発振波長で発振するので、Y L F レーザ光源 1 2 が放出する光の波長が 1 0 4 7 . 0 0 5 n m からずれ検出器 D t 1 の出力が変化すると、波長制御回路 C n 1 がシーディング用半導体レーザ 1 3 の発振波長を変化させ、Y L F レーザ光源 1 2 が放出する光の波長を 1 0 4 7 . 0 0 5 n m にロックする。

【 0 0 1 6 】

図 6 はシーディング用半導体レーザ光源を用いて波長安定化を行う場合の構成例を示す図である。同図に示すように、励起用半導体レーザ 1 1 により励起される Y L F レーザ光源 1 2 は共振器ミラー L M 1 , L M 2 と、レーザロッド R o (Y L F 結晶) から構成され、レーザロッド R o と共振器ミラー L M 2 の間に狭帯域化のためのエタロン板 E T が設けられている。

また、前記したように、吸収セル C e 1 を透過した光が検出器 D t 1 に入射し、検出器 D t 1 の出力により波長制御回路 C n 1 がシーディング用半導体レーザ光源 1 3 の電歪素子 P Z T を駆動し、シーディング用半導体レーザ光源 1 3 の回折格子を変位させ、その発振波長を制御する。

【 0 0 1 7 】

波長制御回路 C n 1 は、例えば図 7 に示すように、位相敏感検波器 D 1 と、直流増幅器 A m p と数 1 0 H z 程度の低周波 f o を発生する発振回路 O S C と、加算器 A d d から構成されており、上記発振器 O S C の出力は位相敏感検波器 D 1 と加算器 A d d に与えられ加算器 A d d の出力により、シーディング用半導体レーザ光源 1 3 の電歪素子 P Z T を駆動し、シーディング用半導体レーザ光源 1 3 が出力する光の波長を微小振動させている。また、上記発振器 O S C の出力は位相敏感検波器 D 1 にも与えられ、位相敏感検波器 D 1 は上記検出器 D t 1 が出力する微小振動の位相と、上記発振器 O S C の位相から、吸収セル C e 1 (同図では吸収セル C e 1 として放電管用電源 P 1 により放電する放電管が示されている) に封入された原子 / 分子の吸収スペクトルの一次微分に対応した出力を発生し、上記電歪素子 P Z T に負帰還してシーディング用半導体レーザ光源 1 3 の発振波長を制御する。

その結果、単一周波数で発振するシーディング用半導体レーザ 1 3 の発振波長が、吸収セル C e 1 に封入されたアルゴン原子の吸収スペクトルである波長 1 0 4 7 . 0 0 5 n m にロックされる。

【 0 0 1 8 】

シーディング用半導体レーザ 1 3 が放出するシード光はファラデー回転子 F D 、 1 / 2 波長板 W 、 偏光ビームスプリッタ B s を介して Y L F レーザ光源 1 2 に注入され、 Y L F レーザ光源 1 2 はシード光の波長で発振する。

図 6 、 図 7 では、吸収セルを用いた波長安定化の例を示したが、レーザ光を吸収セル (放電管) に入射させ、吸収セルにおける放電の常数の変化を検出することにより波長安定化を行ってもよい (光ガルバノ効果による波長安定化) 。

なお、光ガルバノ効果を用いた波長安定化については、本発明者らが先に出願した特願平 9 - 1 1 2 3 4 6 号等を参照されたい。

【 0 0 1 9 】

図 5 に戻り、ビームスプリッタ B s 1 を通過した光は、ビームスプリッタ B s 2 に入射し、その光の一部が K T P 、 L B O もしくは B B O 結晶からなる非線型光学結晶 1 4 に入射して 2 倍波に変換されチタンサファイアレーザ光源 1 5 に注入される。また、ビームスプリッタ B s 2 に入射した光の他の一部がミラー M 1 , M 2 を介してダイクロイックミラー D M に入射し、 C L B O もしくは B B O 結晶からなる和周波結晶 1 8 に入射する。

チタンサファイアレーザ光源 1 5 は上記非線型光学結晶 1 4 の出力光により励起されてパルス発振する。チタンサファイア光源 1 5 はリング型共振器の構成を持ち、その一辺に光

10

20

30

40

50

アイソレータ、波長選択素子としてのエタロン板、複屈折フィルタ等が設けられている。

【0020】

チタンサファイアレーザ光源 15 が放出する光の一部がビームスプリッタ B s 3 で取り出されネオン原子 (Ne I) を封入した吸収セル C e 2 中を透過する。

ネオン原子 (Ne I) は吸収セル C e 2 中を透過する光の内、波長 724.517 nm の線スペクトルを吸収する。このため、チタンサファイアレーザ光源 15 が放出する光の波長が波長 724.517 nm からずれると、検出器 D t 2 の出力が変化し、前記したように波長制御回路 C n 2 が単一周波数で発振するシーディング用半導体レーザ 16 の発振波長を変化させ、チタンサファイアレーザ光源 15 が放出する光の波長を 724.517 nm にロックする。

10

【0021】

ビームスプリッタ B s 3 を通過した光は、L B O, B B O もしくは C L B O 結晶からなる非線型光学結晶 17、18 に順次入射しその 3 倍波に変換され、C L B O もしくは B B O 結晶からなる和周波結晶 19 に入射する。

和周波結晶 19 は前記した Y L F レーザ光源 12 から放出される光と、チタンサファイアレーザ光源 15 が放出する光の 3 倍波の和周波である波長 196.240 nm のパルス光を出射する。

【0022】

和周波結晶 18 が出射する波長 196.240 nm の光は、波長変換手段である水素ラマンセル 20 に入射し、水素ラマンセル 20 は前記図 3 に示したように上記波長 196.240 nm の光の 3 次反ストークス光である波長 157.672 nm のパルス光を出射する。

20

上記ラマンセル 20 が出射する波長 157.672 nm の光は非安定共振器で構成される F₂ レーザ 21 に入射し、F₂ レーザ 21 は上記光によりシーディングされて発振し、波長 157.672 nm のパルス光を放出する。

上記 Y L F レーザ光源 12、チタンサファイアレーザ光源 15 が放出するパルス光の立ち上がりタイミング、および F₂ レーザの発振パルスの立ち上がりタイミングは図示しないタイミング調整手段により調整され同期がとられる。

【0023】

本実施例においては、上記 F₂ レーザ 21 として集光性能などのビームの品質を向上させるため非安定発振器を用いている。

30

通常レーザ共振器は、2 枚にミラーで構成され、図 8 (b) に示すようにミラー間で光をミラーからはみ出さないように往復させる。このような共振器を安定型共振器という。

安定型共振器では、モードの制御を回折損失との違いで行っている。例えば、ミラー間隔 1 m の共振器では、基本モードである T E M 0 0 モードと次のモードとの回折損失に差をつけるために、1 mm 以下の小さな絞りを共振器内に設置しなければならない。He - Ne レーザなどのゲインの小さいレーザの場合は、共振器損失をなるべく小さくする必要があるので、安定型共振器を使用する場合が多い。しかし、T E A 炭酸ガスレーザのようにゲインが大きくゲイン媒質の体積も大きいレーザでは、安定型共振器を用いると多モード発振となり、ビームを集光する性能が低下する。

40

【0024】

このような場合に用いられるのが、非安定共振器である。

非安定共振器はミラー間を往復する光を一部ミラーからはみださせ、外部に射出する構造を持っている。図 8 (a) に示すように凸面鏡と凹面鏡の組み合わせで共焦点型の配置を取ることが多い。このような構造を取ると、高次のモードの発生を比較的容易に抑えることができるので、集光性能などのビームの品質がよくなる。また、大きなモード体積を取るので、大出力レーザに適している。

なお、水素ラマンセル 20 に入射させる 196.2 nm 付近の和周波を発生させる方法としては、本実施例に限るものではなく、例えば、次のような方法がある。

(1) T i : A l₂ O₃ レーザを 785 nm で発振させ、これの 2 倍波、3 倍波、4 倍波

50

を発生させる方法。

(2) YAGレーザの2倍波、4倍波を発生させ、これとTi:Al₂O₃レーザの747nmの発振との和周波を作る方法。

(3) 図5の例において、YLFレーザをYAGレーザに変更する方法。

(4) 図5の例において、Ti:Al₂O₃レーザをOPOに変更する方法。

【0025】

図9は本発明の第2の実施例を示す図であり、本実施例は前記図2の▲2▼に示したYAGレーザ光源の5倍波を用いる場合の構成を示している。

図9において、YAGレーザ光源32は励起用半導体レーザ31により励起されてパルス発振する。YAGレーザ光源32が放出する光はKTP、LBOもしくはBBO結晶からなる非線型光学結晶33に入射しその2倍波に変換される。非線型光学結晶33から出射する光の一部はビームスプリッタBs1で取り出されサマリウム原子(SmI)を封入した吸収セルCe3中を透過する。

10

サマリウム原子は吸収セルCe3中を透過する光の内、波長532.061nmの線スペクトルを吸収するので、非線型光学結晶33から出射する光の波長が532.061nmからずれると、検出器Dt3の出力が変化する。

【0026】

検出器Dt3の出力は波長制御回路Cn3に入力され、波長制御回路Cn3は電歪素子PZTにより単一周波数で発振するシーディング用半導体レーザ34の発振波長を制御する。このため、YAGレーザ光源32が放出する光の波長が波長1064.122nmからずれ、その2倍波が532.061nmからずれると、検出器Dt3の出力が変化し、前記したように波長制御回路Cn3がシーディング用半導体レーザ34の発振波長を変化させ、YAGレーザ光源32が放出する光の波長を1064.122nmにロックする。

20

ビームスプリッタBs1を通過した光は、BBOもしくはCLBO結晶からなる非線型光学結晶35、36に入射し5倍波(波長212.824nm)に変換され、ミラーM1、M2を介して水素ラマンセル20に入射する。

【0027】

水素ラマンセル20は前記図3に示したように上記波長212.824nmの光の4次反ストークス光である波長157.215nmの光を出射する。

上記ラマンセル20が出射する波長157.215nmの光は前記したように非安定共振器の構造を持つF₂レーザ21に入射し、F₂レーザ21は上記光によりシーディングされて発振し、波長157.215nmの光を放出する。

30

上記YAGレーザ光源32が放出するパルス光の立ち上がりタイミング、およびF₂レーザの発振パルスの立ち上がりタイミングは図示しないタイミング調整手段により調整され同期がとられる。

【0028】

本実施例においては、上記のようにYAGレーザ光源が放出する波長1064.122nmの5倍波(波長212.824nm)を水素ラマンセル20に入射して、その4次反ストークス光である波長157.215nmを得ているので、前記第1の実施例に示したように、チタンサファイアレーザ光源や和周波結晶を用いることなく、極めて簡単な構造のコヒーレント光源によりF₂レーザ21のシーディング光を得ることができる。

40

【0029】

【発明の効果】

以上説明したように本発明においては、パルス発振し発振波長が狭帯域であるレーザ光源が放出する光を波長安定化手段で波長安定化し、誘導ラマン効果を用いた波長変換手段により波長変換して、ガスレーザ光源の発振波長とほぼ等しい波長の光を得て、これをシード光としてガスレーザ光源を発振させているので、ガスレーザ光源が放出する光を容易に狭帯域化することができるとともに、その発振波長を安定化することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本構成を示す図である。

50

【図 2】本発明において使用することができるコヒーレント光源およびその安定化手段を示す図である。

【図 3】誘導ラマン効果を説明する図である。

【図 4】水素分子によるラマンシフトを示す図である。

【図 5】本発明の第 1 の実施例を示す図である。

【図 6】シーディング用半導体レーザを用いた波長安定化を説明する図である。

【図 7】波長制御回路の構成例を示す図である。

【図 8】非安定共振器を説明する図である。

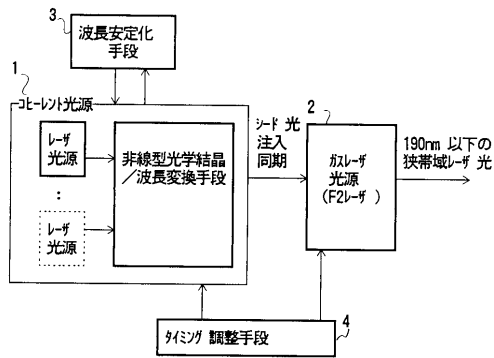
【図 9】本発明の第 2 の実施例を示す図である。

【符号の説明】

1	コヒーレント光源	10
2	ガスレーザ光源	
3	波長安定化手段	
1 1 , 3 1	励起用半導体レーザ	
1 2	Y L F レーザ光源	
1 3 , 1 6 , 3 4	シーディング用半導体レーザ	
1 4 , 1 7 , 3 3	非線型光学結晶 (2 倍波結晶)	
1 5	チタンサファイアレーザ光源	
1 8	非線型光学結晶 (3 倍波結晶)	
1 9	非線型光学結晶 (和周波結晶)	20
2 0	水素ラマンセル	
2 1	F ₂ レーザ	
3 2	Y A G レーザ光源	
3 5	非線型光学結晶 (4 倍波結晶)	
3 6	非線型光学結晶 (5 倍波結晶)	
B s 1 ~ B s 3	ビームスプリッタ	
D M	ダイクロイックミラー	
M 1 ~ M 4	ミラー	
C e 1 ~ C e 3	吸収セル	
D t 1 ~ D t 3	検出器	30
C 1 ~ C 3	波長制御回路	
P Z T 1 ~ P Z T 3	電歪素子	

【図 1】

本発明の基本構成を示す図



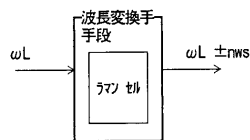
【図 2】

本発明において使用することができるコヒーレント光源およびその安定化手段を示す図

第1コヒーレント光	第2コヒーレント光	第1安定化波長 (共振波長)	第2安定化波長	和周波長	反トラース光
YLF ω	Ti:Sa(724) 3ω	ArI 1047.005	NeI 724.517	196.240	157.672 (3次)
YAG 5ω	なし	SnI 532.061	—	212.824	157.215 (4次)

【図 3】

誘導ラマン効果を説明する図



【図 4】

水素分子によるラマンシフトを示す図

(a)

水素ラマン n	波長 nm	波数 cm^{-1} (差 4551)
0	157.63	63440
1	168.68	59285
2	181.39	55130
3	196.18	50975
4	213.59	46820
5	234.39	42665
6	259.67	38510
7	291.08	34335
8	331.13	30200
9	389.96	26045

(b)

YAG 5ω を変換した場合 1064.2nm		
n	波長 nm	波数 cm^{-1}
0	212.8242	46987.14
1	195.5335	51142.14
2	180.8412	55297.14
3	168.2025	59425.14
4	157.2151	63607.14

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

H01S 3/00 - 4/00

G02F 1/29 - 7/00