

(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2007-48776

(P2007-48776A)

(43) 公開日 平成19年2月22日(2007.2.22)

(51) Int. Cl.

H01S 3/10 (2006.01)

F I

H01S 3/10

C

テーマコード(参考)

5F172

審査請求有 請求項の数 7 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2005-228571 (P2005-228571)
 (22) 出願日 平成17年8月5日(2005.8.5)
 (11) 特許番号 特許第3870238号 (P3870238)
 (45) 特許公報発行日 平成19年1月17日(2007.1.17)

(71) 出願人 504139662
 国立大学法人名古屋大学
 愛知県名古屋市千種区不老町1番
 (74) 代理人 100087723
 弁理士 藤谷 修
 (72) 発明者 松見 豊
 愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大
 学法人名古屋大学内
 (72) 発明者 高橋 けんし
 愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大
 学法人名古屋大学内
 Fターム(参考) 5F172 AD02 AD06 AE24 EE18 EE19
 NP18 NR14 NR22 NR24 ZZ20

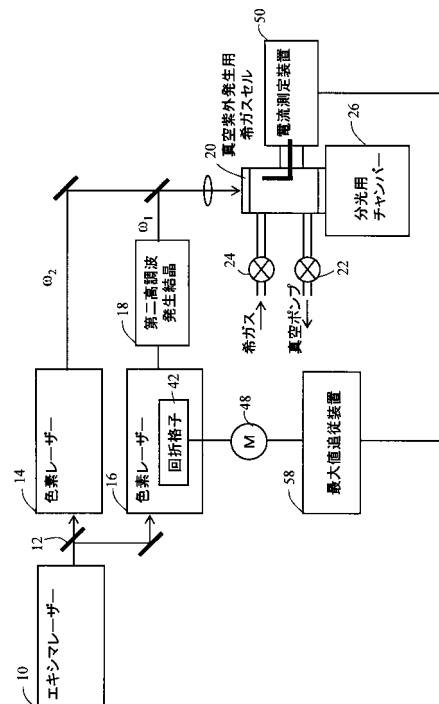
(54) 【発明の名称】 レーザ装置及び波長変換装置

(57) 【要約】

【課題】 高効率に真空紫外領域のレーザを得ること。

【解決手段】 クリプトンガスに第1のレーザを照射して、このクリプトンガスにおいて二光子共鳴中間励起を生起させると共に、第1のレーザとは波長の異なる第2のレーザをクリプトンガスに照射して、第1のレーザ及び第2のレーザの波長と異なる第3の波長を有した第3のレーザを発振させる四波混合レーザ発振方法を用いたレーザ装置である。この装置において、第1のレーザの照射によるクリプトンガスの二光子共鳴多光子イオン化によって生じるイオン電流を測定する電流測定装置と、電流測定装置の出力に基づいて、第1のレーザの波長を制御する波長制御装置とを設けた。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

非線形媒質に第 1 のレーザを照射して、この非線形媒質において二光子共鳴中間励起を生起させると共に、前記第 1 のレーザとは波長の異なる第 2 のレーザを前記非線形媒質に照射して、前記第 1 のレーザ及び前記第 2 のレーザの波長と異なる第 3 の波長を有した第 3 のレーザを発振させる四波混合レーザ発振方法を用いたレーザ装置において、

前記第 1 のレーザの照射による前記非線形媒質の二光子共鳴多光子イオン化によって生じるイオン電流を測定する電流測定装置と、

前記電流測定装置の出力に基づいて、前記第 1 のレーザの波長を制御する波長制御装置と

を有することを特徴とするレーザ装置。

【請求項 2】

前記波長制御装置は、前記電流測定装置が測定する前記イオン電流が最大となるように、前記第 1 のレーザの波長を制御する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】

前記非線形媒質は、気体であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載のレーザ装置。

【請求項 4】

前記非線形媒質を導入した金属ケースを有する波長変換装置を有し、

前記電流測定装置は、

前記波長変換装置の金属ケースを電極とした第 1 の電極と、

この金属ケース内に配置された第 2 の電極と、

前記第 1 の電極と前記第 2 の電極間に流れる電流を電圧に変換する電流電圧変換器と

を有することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 の何れか 1 項に記載のレーザ装置。

【請求項 5】

非線形媒質に第 1 のレーザを照射して、この非線形媒質において二光子共鳴中間励起を生起させると共に、前記第 1 のレーザとは波長の異なる第 2 のレーザを前記非線形媒質に照射して、前記第 1 のレーザ及び前記第 2 のレーザの波長と異なる第 3 の波長を有した第 3 のレーザを発振させる四波混合レーザ発振方法を用いたレーザ装置における波長変換装置であって、

前記第 1 のレーザの照射による前記非線形媒質の二光子共鳴多光子イオン化によって生じるイオン電流を測定する電流測定装置を有することを特徴とする波長変換装置。

【請求項 6】

前記非線形媒質を導入した金属ケースを有し、

前記電流測定装置は、

前記波長変換装置の金属ケースを電極とした第 1 の電極と、

この金属ケース内に配置された第 2 の電極と、

前記第 1 の電極と前記第 2 の電極間に流れる電流を電圧に変換する電流電圧変換器と

を有することを特徴とする請求項 5 に記載の波長変換装置。

【請求項 7】

前記非線形媒質は、気体であることを特徴とする請求項 5 又は請求項 6 に記載の波長変換装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、主として、真空紫外領域（約 100 nm ~ 200 nm）の波長を有したレーザ装置及びそのレーザ装置に用いられる波長変換装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、下記特許文献 1、2 及び非特許文献 1 に開示されているように、100 ~ 200

10

20

30

40

50

nmの真空紫外領域のレーザを得るには、次の四波混合方式が知られている。可視光、紫外光のレーザなどの2つの異なる周波数 ω_1 、 ω_2 のレーザをクリプトン、キセノンなどの希ガスに照射して、希ガスの非線形効果により、周波数 $(2\omega_1 + \omega_2)$ と、 $(2\omega_1 - \omega_2)$ との2つの真空紫外領域の周波数のレーザを得るものである。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

非特許文献1の方法は、第1のレーザの波長を原子の二光子共鳴中間励起状態のエネルギー準位に対応する波長に固定し、第2のレーザの波長を原子の励起状態の遷移エネルギー近傍で掃引するようにしている。この場合、第2のレーザが原子の励起エネルギー準位と共鳴する時にその近傍領域で非線形感受率が更に増大して、真空紫外レーザの出力は著しく大きくなる。しかしながら、この方法は、高効率変換という観点からは望ましいが、原子のエネルギー準位はイオン化エネルギー近傍を除けば分散しているため、第2のレーザの波長掃引範囲がある特定の狭い周波数領域に限定されるという問題がある。

10

【0004】

これを改良するために、特許文献1、2では、非線形媒体に原子と比べて多数のエネルギー準位を有する分子を用いることで、共鳴可能な波長の掃引範囲を拡大するようにしている。

【0005】

また、特許文献1、2において、レーザの強度測定には、光電子倍增管が用いられており、特許文献3においては、蛍光体及び蛍光検出器が用いられているが、レーザの出力に応じて、波長を変化させて、最適共鳴状態を得ることは、行われていない。

20

【0006】

本発明は、上記の課題を解決するために成されたものであり、その目的は、非線形媒体による二光子共鳴に最も合致するように第1のレーザの波長を設定した上で、第2のレーザの波長を掃引することで、所望の真空紫外領域の波長のレーザを高効率で得るようにすることである。

【特許文献1】特開平3 - 169090号

【特許文献2】特開平3 - 99482号

【特許文献3】特開2000 - 213983

30

【非特許文献1】R Hilbig and R Wallenstein, IEEE J Quant Elec, Vol.QE-19(1983)194

【課題を解決するための手段】

【0007】

請求項1の発明は、非線形媒質に第1のレーザを照射して、この非線形媒質において二光子共鳴中間励起を生起させると共に、第1のレーザとは波長の異なる第2のレーザを非線形媒質に照射して、第1のレーザ及び第2のレーザの波長と異なる第3の波長を有した第3のレーザを発振させる四波混合レーザ発振方法を用いたレーザ装置において、第1のレーザの照射による非線形媒質の二光子共鳴多光子イオン化によって生じるイオン電流を測定する電流測定装置と、電流測定装置の出力に基づいて、第1のレーザの波長を制御する波長制御装置とを有することを特徴とするレーザ装置である。

40

ここで、波長制御装置は、回折格子や、エタロンを用いる方法など、その他の波長を変化し得る公知の方式を用いることができる。また、自動及び手動で変化させる得るものを含むものである。

【0008】

また、請求項2の発明は、波長制御装置は、電流測定装置が測定するイオン電流が最大となるように、第1のレーザの波長を制御することを特徴とする請求項1に記載のレーザ装置である。

【0009】

また、請求項3の発明は、非線形媒質は、気体であることを特徴とする請求項1又は請

50

求項 2 に記載のレーザ装置である。気体としては、希ガスや金属蒸気などを用いることができる。

【0010】

また、請求項 4 の発明は、非線形媒質を導入した金属ケースを有する波長変換装置を有し、電流測定装置は、波長変換装置の金属ケースを電極とした第 1 の電極と、この金属ケース内に配置された第 2 の電極と、第 1 の電極と第 2 の電極間に流れる電流を電圧に変換する電流電圧変換器とを有することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 の何れか 1 項に記載のレーザ装置である。

ここで、非線形媒質は、金属ケース内に封入されていても、気体ポンベから常に供給して真空ポンプで排気するように流れていても良い。

10

【0011】

また、請求項 5 の発明は、非線形媒質に第 1 のレーザを照射して、この非線形媒質において二光子共鳴中間励起を生起させると共に、第 1 のレーザとは波長の異なる第 2 のレーザを非線形媒質に照射して、第 1 のレーザ及び第 2 のレーザの波長と異なる第 3 の波長を有した第 3 のレーザを発振させる四波混合レーザ発振方法を用いたレーザ装置における波長変換装置であって、第 1 のレーザの照射による非線形媒質の二光子共鳴多光子イオン化によって生じるイオン電流を測定する電流測定装置を有することを特徴とする波長変換装置である。

すなわち、本発明は、二光子共鳴多光子イオン化によるイオン電流を測定する装置を有した所望の波長のレーザを得る波長変換装置に関するものである。したがって、本装置は、従来の公知のレーザ装置の波長変換装置に代えて、本装置を用いることにより、上記の請求項 1 の構成となる。

20

【0012】

また、請求項 6 の発明は、非線形媒質を導入した金属ケースを有し、電流測定装置は、波長変換装置の金属ケースを電極とした第 1 の電極と、この金属ケース内に配置された第 2 の電極と、第 1 の電極と第 2 の電極間に流れる電流を電圧に変換する電流電圧変換器とを有することを特徴とする請求項 5 に記載の波長変換装置である。

【0013】

また、請求項 7 の発明は、非線形媒質は、気体であることを特徴とする請求項 5 又は請求項 6 に記載の波長変換装置である。

30

【発明の効果】

【0014】

請求項 1 の発明によると、目的の波長のレーザを得るための非線形媒質を用いて、第 1 のレーザの照射によって非線形媒質において発生する二光子共鳴の大きさを非線形媒質のイオン電流で測定するようにして、このイオン電流の大きさに応じて、第 1 のレーザの波長を制御するようにしている。したがって、二光子共鳴状態に、第 1 のレーザの波長を合わせるのに節密な波長計などの測定装置を用いる必要がないので、装置が簡便となる。また、この非線形媒質のイオン電流により第 1 のレーザの波長を適正に制御することにより、目的のレーザを高効率で得ることができる。

【0015】

請求項 2 の発明によると、イオン電流が最大となるように第 1 のレーザの波長が制御されることから、レーザを最大効率で得ることができる。

40

【0016】

請求項 3 の発明によると、非線形媒質を気体としていることから、容易に真空紫外領域のレーザを得ることができる。

【0017】

請求項 4 の発明によると、波長変換装置に組み込まれた電極や電流電圧変換器により、非線形媒体のイオン電流を容易に測定することができ、レーザ波長の制御を簡便に行うことができる。

【0018】

50

請求項 5、6、7 の発明によると、本波長変換装置を従来の波長変換装置に代えるだけで、高効率で真空紫外領域のレーザを容易に得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。図 1 は、本実施例装置の全体の構成を示したブロック図であり、図 2 は、電流測定装置を有する波長変換装置の構成を示した図である。エキシマレーザ 10 から出力される波長 308 nm のレーザは、スプリッタ 12 により 2 つのビームに分離され、それぞれ、色素レーザ 14、16 に入射する。色素レーザ 16 からは、波長 424 nm のレーザが出力され、第二高調波発生結晶 18 により、第 1 の波長 212 nm に変換されて、周波数 ν_1 の第 1 のレーザとなる。また、色素レーザ 16 には、回折格子 42 が設けられており、この回折格子 42 の回転により第 1 のレーザの波長を変化させることができる。

10

【0020】

一方、色素レーザ 14 からは、可視光領域の周波数 ν_2 (第 2 の波長) の第 2 のレーザが出力される。

【0021】

この第 1 のレーザと第 2 のレーザは、波長変換装置である真空紫外発生用希ガスセル 20 に入射する。真空紫外発生用希ガスセル 20 は、図 2 に示すように、円筒状のステンレス製の金属ケース 28 の両端面に、それぞれ、リング 36、38 を介して設けられた石英窓 30 と、LiF 窓 32 を有している。金属ケース 28 は電極として機能し、第 1 の電極となる。この真空紫外発生用希ガスセル 20 の内部は、バルブ 22 を介して、真空ポンプ 44 により真空排気され、バルブ 24 を介して、希ガスボンベ 46 から希ガスであるクリプトン (Kr) ガスが流入される。第 1 のレーザ及び第 2 のレーザは、石英窓 30 を介して、真空紫外発生用希ガスセル 20 に導入され、この希ガスを用いた四波混合レーザ発振法により、真空紫外領域内の所望の波長 (例えば、100 nm ~ 200 nm) に変換される。真空紫外領域の波長に波長変換されたレーザは、LiF 窓 32 を介して、目的の処理、例えば、分光を行う分光用チャンバ 26 に入射する。

20

【0022】

真空紫外発生用希ガスセル 20 の円筒状の金属ケース 28 の軸方向に平行に伸びた第 2 の電極であるタングステン線電極 34 が設けられており、このタングステン線電極 34 は、直角に折り曲げられて、金属ケース 28 の側壁に対して垂直方向に外部に取り出されている。タングステン線電極 34 は、封止するためのガラス管 40 を貫通して、電流測定装置 50 の回路に接続されている。タングステン電極 34 はレーザ光線が当たらないように設置されている。

30

【0023】

タングステン線電極 34 には、正のバイアス電圧が端子 52 から抵抗 R1 を介して印加され、真空紫外発生用希ガスセル 20 の金属ケース 28 はアースされている。また、二光子共鳴多光子イオン化によるパルス状の電流信号は、タングステン線電極 34 を通り、コンデンサ C1 を介して、電流電圧変換器 54 の反転入力端子に入力するように構成されている。この電流電圧変換器 54 は、帰還抵抗 R2 により電流電圧変換効率が調整されている。この電流電圧変換器 54 により電圧に変換された信号は、端子 56 から外部へ出力される。この出力信号の波形は、オシロスコープによって表示される。

40

【0024】

次に、本レーザ装置の発振手順について説明する。まず、真空紫外発生用希ガスセル 20 の内部を真空ポンプ 44 で排気した後、クリプトン (Kr) を希ガスボンベ 46 から導入し、内部を一定圧に保持した後、バルブ 22、24 を閉じて、内部のクリプトン (Kr) の圧力を一定に保持する。次に、エキシマレーザ 10 をパルス発振させて、色素レーザ 16 のみを起動して、周波数 ν_1 の第 1 のレーザのみを真空紫外発生用希ガスセル 20 内に入射させる。次に、電流測定装置 50 を起動して、タングステン線電極 34 に、所定の直流バイアス電圧を印加する。クリプトン (Kr) 原子による二光子共鳴多光子イオン化

50

が起こると、クリプトンイオンと電子による電流がタングステン線電極 3 4 から金属ケース 2 8 に向けて流れる。この二光子共鳴多光子イオン化により生じたイオン電流を、タングステン線電極 3 4 により捉えて、電流電圧変換器 5 4 により電圧に変換した後、外部のオシロスコープにより信号波形を観測する。このイオン電流が最大値をとるように、色素レーザ 1 6 の回折格子 4 2 を手動で回転させて、回折格子 4 2 の回転角を定める。

【 0 0 2 5 】

このようにして、クリプトン (K r) 原子による二光子共鳴が最大となる状態が得られるように第 1 のレーザの第 1 の波長 (周波数 ν_1) を設定した後に、色素レーザ 1 4 を起動して、第 2 の波長 (周波数 ν_2) を有した第 2 のレーザを真空紫外発生用希ガスセル 2 0 に入射させる。この時、クリプトン (K r) 原子の非線形効果により、周波数 ($2\nu_1 + \nu_2$) と、 ($2\nu_1 - \nu_2$) との 2 つの周波数のレーザを得ることができる。この時、第 2 のレーザの波長を順次変化させることにより、分光に適した所望の周波数 ($2\nu_1 + \nu_2$) 又は、 ($2\nu_1 - \nu_2$) を得ることができる。この時、第 2 のレーザの波長 (周波数 ν_2) を掃引すれば、所望の目的とする波長のレーザを得ることができる。

10

【 0 0 2 6 】

このように、本レーザ装置では、まず、第 1 のレーザの波長を非線形媒体の二光子共鳴に良く合致するように調整した後に、第 2 のレーザを非線形媒体に入射するようにしているので、四波混合レーザ発振を高効率で実現することができる。

【 0 0 2 7 】

また、図 1 に示すように、電流測定装置 5 0 からのイオン電流の測定値を最大値追従装置 5 8 に入力して、その最大値追従装置 5 8 により、常に、イオン電流が最大となるようにモータ 4 8 を微小駆動して、回折格子 4 2 の回転角を制御するようにしても良い。最大値追従装置 5 8 としては、電流測定装置 5 0 から入力されたイオン電流の測定値を時間微分して、この時間微分が零 (極大値) となるように、モータ 4 8、したがって回折格子 4 2 の回転角をフィードバック制御するようにした装置である。

20

【 0 0 2 8 】

このように、本装置では、波長変換装置の金属ケース 2 8 が電極 (アース電極) となっているので、装置の構造を強固にできると共に構造が簡単となり、簡便にイオン電流を取り出すことができる。また、タングステン線電極 3 4 の出力端子に接近した位置で、高入力インピーダンスの電流電圧変換器を接続していることから、雑音を排除して、高電圧の出力を得ることができる。さらに、タングステン線電極 3 4 はガラス管に接合した用いていることから、イオン電流を真空状態の金属ケース 2 8 から容易に取り出すことができる。

30

【 0 0 2 9 】

本発明は、図 1 のようにレーザ装置としても用いることができるし、電流測定装置 5 0 を有した波長変換装置 2 0 として、提供することも可能である。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 3 0 】

本発明は、主として、真空紫外領域の波長のレーザを効率良く得ることのできる装置である。例えば、酸素原子 $O(^3P)$ 、 $O(^1D)$ 、水素原子、窒素原子、塩素原子、シリコン原子や、ラジカルなどを高感度で検出する装置に応用することができる。これらは、燃焼化学反応解析や半導体プロセス解析において、系を乱すことなく測定できる有効な装置である。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 1 】

【 図 1 】 本発明の具体的な実施例に係るレーザ装置を示した構成図。

【 図 2 】 本発明の電流測定装置を有した波長変換装置の詳細な構造を示した構成図。

【 符号の説明 】

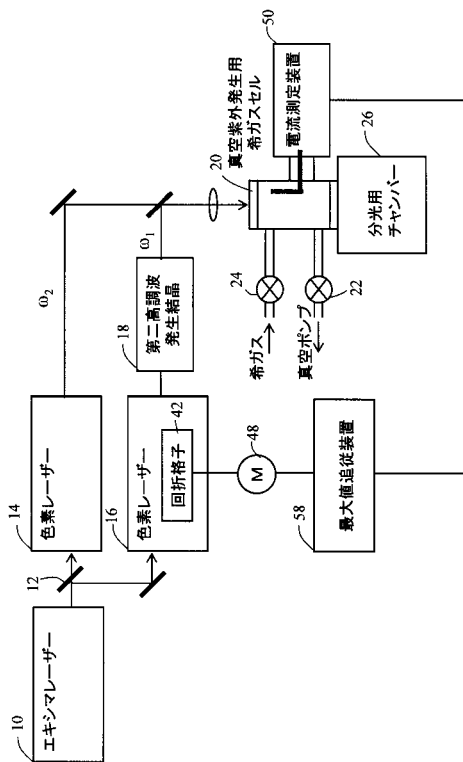
【 0 0 3 2 】

1 0 ... エキシマレーザ

50

- 14, 16 ... 色素レーザー
- 20 ... 真空紫外発生用希ガスセル
- 26 ... 分光用チャンバー
- 28 ... 金属ケース
- 34 ... タングステン線電極
- 50 ... 電流測定装置

【 図 1 】



【 図 2 】

