

(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2020-122869
(P2020-122869A)

(43) 公開日 令和2年8月13日(2020.8.13)

(51) Int. Cl.	F 1	テーマコード (参考)
GO2F 1/35 (2006.01)	GO2F 1/35	2K102
HO1S 3/108 (2006.01)	HO1S 3/108	5F172

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2019-14486 (P2019-14486)
(22) 出願日 平成31年1月30日 (2019. 1. 30)

(出願人による申告) 平成25年度、独立行政法人科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業、総括実施型研究、研究プロジェクト名「ERATO美濃島知的シンセサイザプロジェクト」、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 504133110
国立大学法人電気通信大学
東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1

(74) 代理人 100107766
弁理士 伊東 忠重

(74) 代理人 100070150
弁理士 伊東 忠彦

(72) 発明者 桂川 眞幸
東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

Fターム(参考) 2K102 AA06 AA07 AA08 AA32 BA18
BB02 BC02 BD09 BD10 CA20
DA01 DD00 EB00 EB20 EB30
5F172 AE03 AE06 AF02 AF07 CC04
DD04 NN13 NQ09 NQ64 NR22

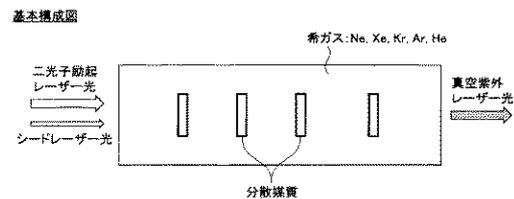
(54) 【発明の名称】 レーザ装置、波長変換デバイス、及び光出力方法

(57) 【要約】

【課題】 小型かつ室温で動作して真空紫外レーザー光を発生するレーザ装置を提供する。

【解決手段】 レーザ装置は、セル内に封入される希ガスと、前記希ガスの中に光軸に沿って配置される、位置と厚みが所望の値に調整された1以上の分散媒質と、二光子励起光源と、シード光源と、を有し、二光子励起光とシード光が前記希ガスと前記分散媒質に入射して、二光子励起による非線形光学過程を経て真空紫外レーザー光が出力される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

セル内に封入される希ガスと、
前記希ガスの中に光軸に沿って配置される、位置と厚みが所望の値に調整された 1 以上の分散媒質と、
二光子励起光源と、
シード光源と、
を有し、二光子励起光とシード光が前記希ガスと前記分散媒質に入射して、二光子励起による非線形光学過程を経て真空紫外レーザー光が出力される、
ことを特徴とするレーザー装置。

10

【請求項 2】

前記希ガスは、He、Ne、Ar、Xe、Kr から選択される 1 以上のガスであることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザー装置。

【請求項 3】

前記分散媒質は、前記希ガスとの界面である入射面で、前記非線形光学過程で生じる 2 以上の光成分の位相不整合量 (kL) が になる位置に配置され、かつ、前記分散媒質の出射面で前記位相不整合量 (kL) がゼロまたは最小になる厚みに制御されていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のレーザー装置。

【請求項 4】

前記二光子励起は、前記希ガスの二光子許容遷移の量子準位に近共鳴させた断熱励起であることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載のレーザー装置。

20

【請求項 5】

前記非線形光学過程は、和周波光発生と光パラメトリックダウンコンバージョンの少なくとも一方であることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載のレーザー装置。

【請求項 6】

前記二光子励起光源は固体パルスレーザーを有し、前記二光子励起光は、前記固体パルスレーザーの出力の 2 倍高調波、または 3 倍高調波であることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載のレーザー装置。

【請求項 7】

光入射窓および光出射窓を有するセルと、
前記セル内に封入される希ガスと、
前記希ガスが封入された前記セル内に光軸に沿って配置される 1 以上の分散媒質と、
を有し、
前記分散媒質は、前記希ガスとの界面である入射面で、非線形光学過程により生じる 2 以上の光成分の位相不整合量 (kL) が になる位置に配置され、かつ、前記分散媒質の出射面で前記位相不整合量 (kL) がゼロまたは最小となる厚みに調整されていることを特徴とする波長変換デバイス。

30

【請求項 8】

希ガスと、前記希ガスの中に光軸に沿って配置されて位置と厚みが所望の値に調整された 1 以上の分散媒質とが封入されたセルに二光子励起光とシード光を入射し、
二光子励起による非線形光学過程を経て前記セルから真空紫外レーザー光を出力することを特徴とする光出力方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザー装置、波長変換デバイス、及び光出力方法に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザー技術の発展にともなって様々な機能を持つレーザーの開発が進み、可視光や近赤外光の帯域では、これらのレーザー光を用いた高次の非線形光学効果も観測されてきた。しか

50

し、真空紫外域においては、透明な固体（非線形光学結晶）がほとんど存在せず、この波長域において有用なレーザー、たとえば、単一周波数（波長可変）レーザーを実現することは、現状でも、尚、極めて困難な課題として残されたままである。

【0003】

非線形光学過程に關与する複数の周波数（または波長）成分の間の相対位相関係を所望の値へと近似的に制御することで、目的とする非線形光学過程を実現する構成が知られている（たとえば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】再公表特許WO2015/170780号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記の特許文献の典型例（高次誘導ラマン散乱過程）では、非線形光学媒質と、非線形光学媒質中に配置される透明な分散媒質とを含むケーシングの全体が、液体窒素等により低温に維持される。また、目的とする非線形光学過程を実現して真空紫外域で所定の光を取り出すためには、多数の分散媒質の挿入が必要である。たとえば、100nmに近い波長へ変換するためには、10枚前後の分散媒質の挿入が必要になる。

【0006】

本発明は、小型かつ室温で動作して真空紫外レーザー光を発生するレーザー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】

【0007】

本発明では、希ガス中に分散媒質を配置し、その位置と厚みを所望の値に調整することで、二光子励起による非線形光学過程を経て、室温で高効率に真空紫外レーザー光を発生させる。

【0008】

具体的には、本発明のレーザー装置は、

セル内に封入される希ガスと、

前記希ガスの中に光軸に沿って、その位置と厚みが所望の値に調整された1以上の分散媒質と、

二光子励起光源と、

シード光源と、

を有し、二光子励起光とシード光が前記希ガスと前記分散媒質に入射して、二光子励起による非線形光学過程を経て真空紫外レーザー光が出力される。

【発明の効果】

【0009】

用いる分散媒質の数を低減し、小型かつ室温で動作して真空紫外レーザー光を発生するレーザー装置が実現される。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】実施形態の真空紫外レーザー光発生の基本概念を説明する図である。

【図2】実施形態のレーザー装置の模式図である。

【図3A】実施形態で用いる二光子励起光源の構成例である。

【図3B】実施形態で用いる二光子励起光源の変形例である。

【図4】二光子励起による光パラメトリック増幅を説明する図である。

【図5】真空紫外レーザー光の発生スキームとして、パラメトリックダウンコンバージョンと和周波光発生を示す図である。

【図6】図2のレーザー装置を用いたパラメトリックダウンコンバージョンの数値計算例で

10

20

30

40

50

ある。

【図7】図2のレーザ装置を用いた和周波光発生の数値計算例である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

図1は、実施形態の真空紫外レーザ光発生の基本概念を説明する図である。実施形態では、He（ヘリウム）、Ne（ネオン）、Ar（アルゴン）、Kr（クリプトン）、Xe（キセノン）等の希ガス中に透明な分散媒質を配置し、その位置と厚みを所望の値に高精度に調整する。希ガスと分散媒質に、二光子励起レーザ光とシード光を入射し、二光子励起による非線形光学過程により、室温で高効率に真空紫外レーザ光を発生させる。

【0012】

二光子励起とは、二つの励起光子が同時に吸収される現象である。二光子励起により、希ガスへの入射光のエネルギーは2倍になり、 $1/2$ 波長の励起と同じ効果が得られる。希ガスは非線形光学媒質であり、高エネルギーの光が入射することで、希ガスの内部に入射電場に対して非線形な（2次以上の）分極が生じ、その分極の振動から入射光と異なる周波数成分が発生する。実施形態では、真空紫外レーザ光として波長が200nm以下、より好ましくは120nm～140nmの真空紫外レーザ光を取り出す。

【0013】

分散媒質は、その屈折率が周波数または波長に依存する媒質である。実施形態では、分散媒質は、入射した二光子励起光、新たに発生するアイドラー光（真空紫外レーザ光）とシグナル光の間の相対位相関係が、真空紫外レーザ光の出射端まで整合した状態に維持されるように、挿入位置と厚さが制御されている。分散媒質が挿入された位置で、複数の周波数成分の間に生じる位相不整合を修正して、比較的長い相互作用長にわたって位相整合を保つことができる。

【0014】

具体的には、分散媒質は、希ガスとの界面である入射面で、非線形光学過程で生じる2以上の光成分の位相不整合量（ kL ）が になる位置に配置され、かつ、その厚さは、分散媒質の出射面で位相不整合量（ kL ）がほぼ0になる厚さに制御されている。分散媒質を希ガス中のどの位置に挿入するかについての具体例は、後述する。

【0015】

図2は、実施形態のレーザ装置1の模式図である。レーザ装置1は、セル10の内部に封入される希ガス15と、希ガス15の中に、光軸OAに沿って配置された1以上の分散媒質17a～17dと、二光子励起光源2と、シード光源3を有する。セル10内の希ガス15と分散媒質17で、波長変換デバイス10が構成される。

【0016】

セル11は、入射側に透過窓12を有し、出射側に透過窓13を有する。透過窓12は入射する二光子励起光とシード光に対して透明な材料で形成されている。透過窓13は、出力される真空紫外レーザ光に透明な材料で形成されている。このような材料として、石英、ケイ酸塩、フッ化カルシウム、フッ化マグネシウム等の窓を用いることができる。

【0017】

分散媒質17a～17dは、合成石英、フッ化カルシウム、フッ化マグネシウム、フッ化リチウム等で形成されている。図2では、例示のために4枚のプレート状の分散媒質17a～17dが描かれているが、この例に限定されない。分散媒質17a～17dは、希ガス15内での位置と厚さが所望の値になるように高精度に調整されている。一例として、分散媒質17a、17bのように、分散媒質17を光軸OAに対して傾ける、または回転させることで、希ガス15中での分散媒質17の入射面と出射面の位置、及び厚さ（実効的な光学長）を変えることができる。

【0018】

あるいは、分散媒質17c、17dのように、分散媒質17を一对のくさび型のパーツを組み合わせて構成し、矢印で示すように、パーツの少なくとも一方を他方に対してくさびの稜線に沿った方向に相対的に動かすことで、分散媒質17の入射面と出射面の位置、

10

20

30

40

50

及び厚さを制御してもよい。

【 0 0 1 9 】

図 2 のように、回転可能な分散媒質 1 7 とくさび型ペアの分散媒質 1 7 の両方を用いる必要はなく、いずれか一方のタイプだけを用いてもよいし、位置と実効的な光路長を調整することができれば、どのような構成であってもよい。適切な位置と厚さで分散媒質 1 7 を配置して二光子励起を用いることで、1 ~ 3 枚の分散プレートを挿入するだけで、真空紫外レーザー光を高効率で発生させることができる。

【 0 0 2 0 】

希ガス 1 5 の密度は、ターゲットとする真空紫外レーザー光を発生させるために、利得またはコヒーレンスに応じて適切な密度に設定されている。たとえば、波長が 1 6 0 n m ~ 2 0 0 n m の真空紫外レーザー光を発生させる場合、コヒーレンスが 0 . 1 ~ 0 . 2 の条件では、希ガスの密度を $1 0^{17} \text{ c m}^{-3}$ 程度に設定する。

10

【 0 0 2 1 】

実施形態の特徴として、レーザー装置 1 は室温で動作し、波長変換デバイス 1 0 を低温環境に置く必要はない。また、分散媒質 1 7 を 1 0 枚近くも使用する必要はない。波長変換デバイス 1 0 を用い、パラメトリックダウンコンバージョン、和周波光発生等により、室温で真空紫外レーザー光を取り出すことができる。

【 0 0 2 2 】

二光子励起光源 2 は、たとえば、チタンサファイアレーザーのように、高い密度で光子を発生させるパルスレーザーである。二光子励起光源 2 の種類、構成等に制限はないが、たとえば、図 3 のようなナノ秒注入同期パルスレーザーを用いることができる。

20

【 0 0 2 3 】

図 3 A は、実施形態で用いる二光子励起光源 2 A の模式図である。二光子励起光源 2 A は、4 枚のミラー M 1 ~ M 4 と、レーザー媒質 5 1 を有するポウタイ型共振器の注入同期レーザーである。ミラー M 1 とミラー M 2 を凹面ミラーとすることで、ビームをきつく絞ってマルチモード発振を抑制することができる。

【 0 0 2 4 】

パラメトリックダウンコンバージョン、和周波光発生等により真空紫外レーザー光を取り出すには、高出力な単一波長の二光子励起光を入射する必要がある。高出力で単一波長の二光子励起レーザー光を得るために、注入同期を利用する。注入同期とは、エネルギーの高い自励発振器に、周波数の安定した単一波長の外部光を注入することで、発振出力を外部光に同期させる技術である。

30

【 0 0 2 5 】

励起光（図中の破線矢印）として、固体レーザーである Q スイッチ N d ドープ Y A G パルスレーザー（1 0 6 4 n m）の第二高調波（5 3 2 n m）を用いる。Q スイッチ Y A G レーザーは励起レーザーの一例であり、その他の励起光源を用いてもよい。注入同期用のシード光源として、たとえば 7 4 8 . 8 8 n m にチューニングした周波数安定な E C D L（External Cavity Diode Laser：外部共振器半導体レーザー）を用いる。

【 0 0 2 6 】

レーザー媒質 5 1 として、6 5 0 n m ~ 1 1 0 0 n m で発振可能であり、8 0 0 n m 付近に増幅利得の中心があるチタンサファイア結晶を用いる。4 枚のミラー M 1 ~ M 4 の間を反復し、レーザー媒質 5 1 で増幅されて出力されるレーザー光は、外部光の周波数である 7 4 8 . 8 8 n m に同期される。

40

【 0 0 2 7 】

この出力光に対して第 2 高調波発生（S H G：Second Harmonic Generation）または第 3 高調波発生（T H G：Third Harmonic Generation）を適用して、単一波長、単一横モードの二光子励起レーザー光を生成する。たとえば、T H G により波長が 2 4 9 . 6 2 8 n m の二光子励起レーザー光を二光子励起光源 2 A から出力することができる。注入同期用のシード光源に波長可変光源を用いる場合は、図 3 A の構成で所望の波長を有する単一波長、単一横モードの二光子励起レーザー光を出力することができる。

50

【 0 0 2 8 】

図 3 B は、図 3 A の変形例である二光子励起光源 2 B の模式図である。図 3 B では、ミラー M 1 とミラー M 2 の間に真空セル 5 2 を配置して、きつく絞られたビームの焦点近傍での放電を抑制する。また、ミラー M 1 とミラー M 2 の間に、非点収差補正プレート 5 3、5 4 を挿入して、非点収差を軽減してもよい。さらに、ミラー M 4 の抜け光をミラー M 2 の位置制御にフィードバックして、共振器をロックし安定性を高めてもよい。

【 0 0 2 9 】

真空セル 5 2、非点収差プレート 5 3、5 4、及びフィードバック機構の全て備える必要はなく、必要に応じてこれらの一部を組み合わせてもよい。共振器はポウタイ型に限定されず、三角形型、Z 型等、その他の共振器構成を用いてもよい。

10

【 0 0 3 0 】

図 2 に戻って、シード光源 3 はどのような光源を用いてもよい。このシード光源 3 は二光子励起光源 2 で用いられる注入同期用のシード光源とは異なってもよいし、共用してもよい。この例ではシード光源 3 として、たとえば、赤外から遠赤外の帯域の光を出力する別個の光源を用いる。シード光源 3 は波長可変光源であってもよい。

【 0 0 3 1 】

図 4 は、二光子励起による光パラメトリック増幅を説明する図である。図 4 では、ダウンコンバージョンを例にとっている。実施形態では、希ガスの二光子許容遷移の量子準位に近共鳴させた断熱二光子励起により、高コヒーレンスで光パラメトリック増幅を行う。二光子励起レーザー光を二光子許容遷移の量子準位に近共鳴させて、離長を制御することで、系は断熱励起されて、現実的な励起強度で最大に近いコヒーレンスを生成することができる。

20

【 0 0 3 2 】

図 4 で、基底状態 $|g\rangle$ 、二光子遷移が許容される励起状態を $|e\rangle$ とすると、二光子励起により系に与えられるエネルギーが、二光子遷移のスペクトル拡がりに対応する数 GHz 程度の離長だけ、励起準位（共鳴準位）からずれている方がコヒーレンスを高めることができる（近共鳴）。これを断熱二光子励起という。ここで「断熱」とは、系が外部との間でエネルギーのやりとりが無いことを意味する。

【 0 0 3 3 】

非線形光学媒質としての希ガス 1 5 に入射した二光子励起レーザー光は、希ガス 1 5 の電子状態を、二光子許容遷移の量子準位の近傍に励起する。その状態にシード光（シグナル光）をさらに希ガス 1 5 に導入すると、新たな周波数の真空紫外レーザー光（VUV: Vacuum Ultra Violet）が発生する。ここでは真空紫外レーザー光はアイドラー光とも呼ばれる。真空紫外レーザー光（アイドラー光）のエネルギーは、2つの励起光子のエネルギーの和から、シード光のエネルギーだけ小さくなったエネルギーである。

30

【 0 0 3 4 】

図 5 は、真空紫外レーザー光の発生スキームとして、パラメトリックダウンコンバージョンと、和周波光発生を示す図である。図 5 (a) のパラメトリックダウンコンバージョンは、図 4 を参照して説明したとおりである。

【 0 0 3 5 】

図 5 (b) の和周波光発生では、二光子励起により、希ガス 1 5 の二光子許容遷移の量子準位（ $|e\rangle$ ）の近傍のエネルギー状態に、シード光のエネルギーが加算されて、真空紫外レーザー光（和周波光）が生成される。2つの励起光子のエネルギーの合計に、さらにシード光のエネルギーが足し合わされて真空紫外レーザー光が生成されるので、パラメトリックダウンコンバージョンよりも短い波長の真空紫外レーザー光が生成される。

40

【 0 0 3 6 】

二光子励起光が希ガス 1 5 に入射して、図 5 (a) のパラメトリックダウンコンバージョンが支配的になるか、図 5 (b) の和周波光発生が支配的になるかは、エネルギーの流れによって決まり、希ガス 1 5 中に配置される分散媒質 1 7 の位置と厚さを制御することで、波長変換デバイス 1 0 の伝搬長にわたって位相整合条件を満たし、かつ、パラメトリ

50

ックダウンコンバージョンと和周波光発生を選択することも可能である。

【 0 0 3 7 】

図 6 は、図 2 のレーザ装置 1 におけるパラメトリックダウンコンバージョンの数値計算例である。図 6 (B) は、希ガス 1 5 中の光の伝搬過程で生成される光をフォトン発生数で表したものである。図 6 (A) は、図 6 (B) の数値計算結果を白黒画像で示したものである。図 6 (A) と図 6 (B) で、横軸の伝搬長のスケールは一致している。

【 0 0 3 8 】

数値計算条件として、セル 1 1 内に X e ガスを、室温での X e 原子の密度 $N = 2.88 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ で充填する。二光子励起光源 2 の励起強度 I は $I = 0.65 \text{ GW/cm}^2$ 、二光子励起レーザ光の波長は 249.6285 nm 、シード光波長は $3.959315 \mu\text{m}$ である。

10

【 0 0 3 9 】

図 6 (A) で、- 1 チャネルがアイドラー光としての真空紫外レーザ光 (V U V) の観測チャネル、0 チャネルがシード光 (シグナル光) の観測チャネル、+ 1 チャネルは和周波光の観測チャネルである。ここで発生する V U V レーザ光の波長は 128.8770 nm である。右端の白黒のスケールバーは、正規化されたフォトン数であり、図 6 (B) の縦軸のスケールと一致している。

【 0 0 4 0 】

図 6 (B) の数値計算結果で、実線は入射シード光を含む発生したフォトン数の総和である。二光子励起レーザ光の希ガス 1 5 への入射直後は、二光子励起レーザ光と希ガスの相互作用はまだ発生していない。

20

【 0 0 4 1 】

その後、伝搬過程での非線形な相互作用により、二光子励起のエネルギーから、シード光と真空紫外レーザ光 (V U V) へとエネルギーが流れる。伝搬長が 2 cm に近づくと、図中のサークル A で示すように、V U V レーザ光 (アイドラー光) の発生光子数が停滞する一方で、和周波光の強度が強くなる。これは希ガス 1 5 を伝搬するパラメトリックダウンコンバージョンに関わる光成分の間で、位相がずれてきていることに起因する。

【 0 0 4 2 】

そこで、V U V レーザ光の発生が停滞する 2 cm 近傍の位置に 1 番目の分散媒質 1 7 を挿入して、複数の光成分の間で位相整合条件が満たされるように補正する。具体的には、分散媒質 1 7 への入射面で複数の光成分の位相不整合量 (kL) が 0 になる位置に分散媒質 1 7 を配置し、かつ、この分散媒質 1 7 の出射面で光成分間の位相不整合量 (kL) がゼロになる厚さに分散媒質 1 7 の厚さを調整する。

30

【 0 0 4 3 】

この位置と厚さで分散媒質 1 7 を配置することで、停滞していた V U V 光の発生が回復し、かつ和周波光の成分が低減する。その結果、シード光 (シグナル光) 、V U V レーザ光 (アイドラー光) とともに生成が促進される。

【 0 0 4 4 】

伝搬長が 3.5 cm を超えるあたりで、サークル B で示すように、再度 V U V レーザ光の発生が停滞する。そこで、この位置に第 2 の分散媒質 1 7 を配置する。第 2 の分散媒質 1 7 もその入射面で複数の光成分間の位相不整合量 (kL) が 0 になる位置に配置され、かつその出射面で位相不整合量 (kL) がゼロまたは最小になる厚さに制御される。

40

【 0 0 4 5 】

第 1 の分散媒質と第 2 の分散媒質を適切な位置と厚さで挿入することで、比較的長い伝搬長にわたって位相不整合量 (kL) がゼロまたはその近傍に抑制されて、ほぼ 100% に近い量子効率で V U V レーザ光を出射することができる。

【 0 0 4 6 】

図 7 は、図 2 のレーザ装置 1 における和周波光発生の数値計算例である。セル 1 1 に封入する希ガスの種類と密度、二光子励起光源 2 の条件、波長等は図 6 と同じであるが、図 7 では、 25 cm の伝搬長にわたって和周波光発生過程を観測追跡している。

50

【0047】

図7(A)で、+1チャンネルが和周波光発生で生成される真空紫外レーザー光(VUV)の観測チャンネル、0チャンネルがシード光の観測チャンネル、-1チャンネルはパラメトリックダウンコンバージョンの観測チャンネルである。右端の白黒のスケールバーは、正規化された光子数であり、図7(B)の縦軸のスケールと一致している。

【0048】

和周波光発生では、Xeガスに入射する2光子励起光のエネルギーと、シード光のエネルギーを足し合わせたエネルギーから、VUVレーザー光が生成される。発生するVUVレーザー光の波長は、121.0000nmである。

【0049】

図7(A)及び図7(B)からわかるように、伝搬長の関数としてのVUVレーザー光とシード光の光子数は、周期的に変化し、かつ互いに逆のプロファイルをとる。

【0050】

Xe中を伝搬する複数の光成分の間で位相整合が崩れる位置に、分散媒質17を挿入して位相整合関係を補正する。この例では、伝搬長が2.5cmの近傍でVUVレーザー光(和周波光)の発生が停滞し、パラメトリックダウンコンバージョンによるアイドラー光の割合が多くなる。そこで、この位置に1番目の分散媒質17を配置することで、アイドラー光を低減してVUVレーザー光(和周波光)の発生を増大させる。分散媒質17の位置と厚さは、その入射面で位相不整合量(kL)が0になり、かつ出射面で位相不整合量(kL)がゼロまたは最小となるように制御されている。

【0051】

伝搬長が5cmを超えたあたりで、再度アイドラー光が増大し、VUVレーザー光(和周波光)の発生が停滞する。そこで、この位置に第2の分散媒質17を配置する。第2の分散媒質17も、その入射面で複数の光成分間の位相不整合量(kL)が0になる位置に制御され、かつ、その出射面で位相不整合量(kL)が0になる厚さに制御される。

【0052】

第1の分散媒質と第2の分散媒質を適切な位置と厚さで挿入することで、比較的長い伝搬長にわたってターゲット波長と異なるアイドラー光をきわめて低いレベルに、かつほぼ一定量に抑制して、100%に近い効率でVUVレーザー光(和周波光)を出射することができる。

【0053】

以上、特定の実施例に基づいて本発明を説明してきたが、本発明は上記の構成に限定されない。Xeに替えて、Heガス、Neガス、Arガス、Krガス等をセル11に封入して二光子励起レーザー光とシード光を入射する場合も、分散媒質17を適切な位置と厚さで配置することで、高い効率で真空紫外レーザー光を生成することができる。分散媒質を、その入射面で複数の光成分間の位相不整合量(kL)が0となる位置に配置し、かつ出射面で位相不整合量(kL)がゼロまたは最小となる厚さに設定したときに、真空紫外レーザー光の発生効率は最も高くなる。

【0054】

Xe以外の希ガスを用いる場合も、二光子許容遷移の量子準位に近共鳴させた(ガス分子のスペクトル拡がり程度の離長をとった)断熱励起を行うことで、高コヒーレンスを生成し、効率よく真空紫外レーザー光を生成することができる。

【0055】

二光子励起光源は、固体パルスレーザーにSHG、またはTHG、またはFHG等を組み合わせることで、非線形光学過程でターゲットの真空紫外レーザー光を生成することのできる波長の二光子レーザー光を出力することができる。

【0056】

このような高効率の真空紫外レーザー装置は、光学顕微鏡等の理化学機器、半導体リソグラフィ光源、短波長加工レーザー、遠隔環境計測レーザー光源など、さまざまな用途への利用が期待される。

10

20

30

40

50

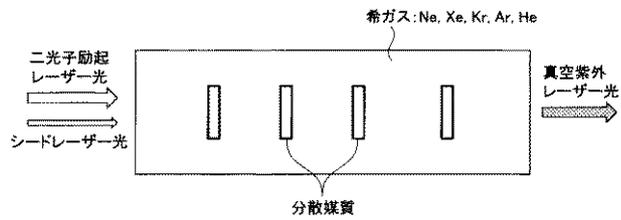
【符号の説明】

【0057】

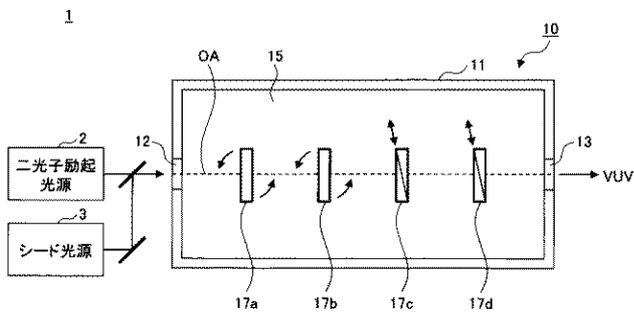
- 1 レーザ装置
- 2、2A、2B 二光子励起光源
- 3 シード光源
- 10 波長変換デバイス
- 11 セル
- 15 希ガス
- 17、17a~17d 分散媒質

【図1】

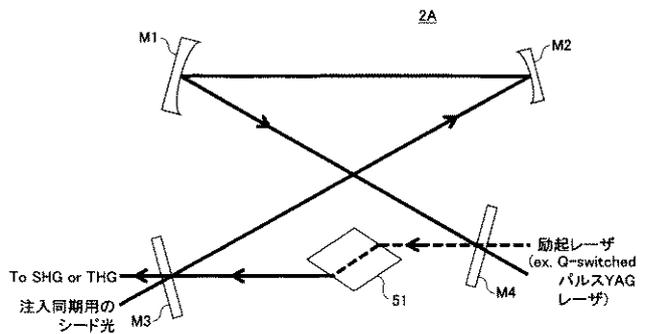
基本構成図



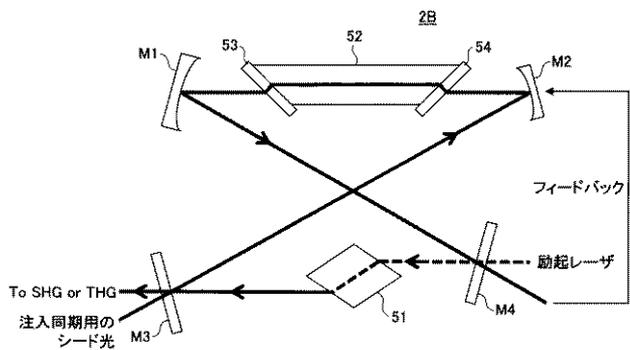
【図2】



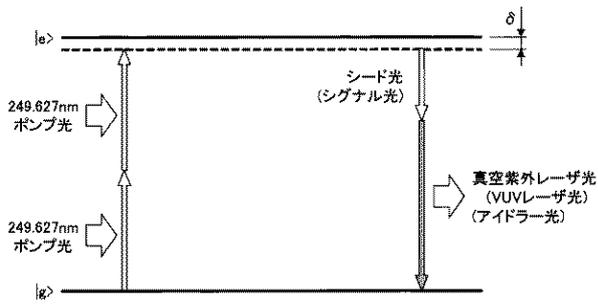
【図3A】



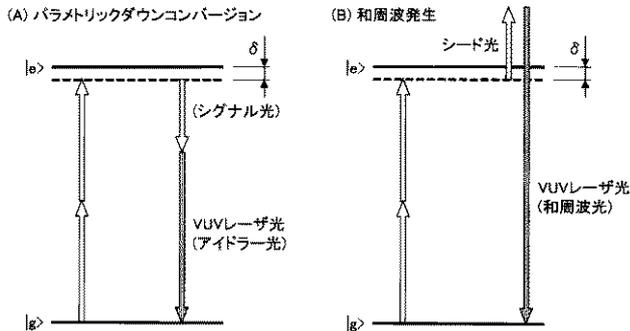
【図3B】



【 図 4 】

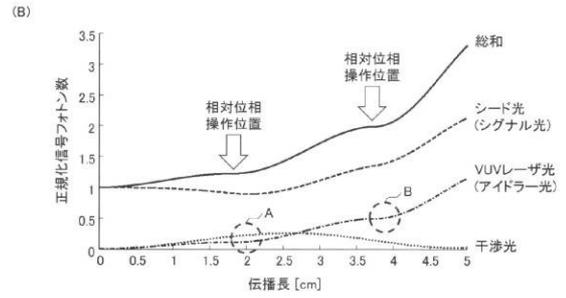
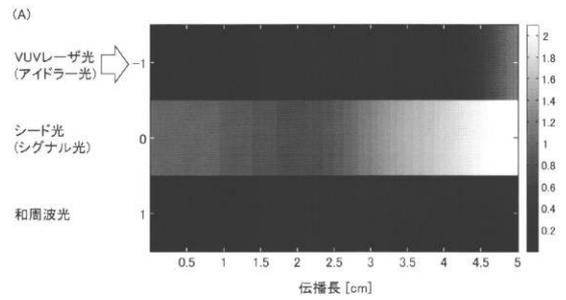


【 図 5 】



【 図 6 】

パラメトリックダウンコンバージョン



【 図 7 】

和周波生成

