

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年7月4日(04.07.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/142255 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 3/10 (2006.01)

〒1808585 東京都武蔵野市緑町 3 丁目 9 - 1
1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/048202

(22) 国際出願日: 2022年12月27日(27.12.2022)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目 5 番 1 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 永井 恒平 (NAGAI, Kohei); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町 3 丁目 9 - 1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 岡本 拓也 (OKAMOTO, Takuya); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町 3 丁目 9 - 1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 篠原 康 (SHINOHARA, Yasushi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町 3 丁目 9 - 1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 眞田 治樹 (SANADA, Haruki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町 3 丁目 9 - 1 1 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 小栗 克弥 (OGURI, Katsuya);

(74) 代理人: 山川 茂樹, 外(YAMAKAWA, Shigeki et al.); 〒1006104 東京都千代田区永田町 2 丁目 1 1 番 1 号 山王パークタワー 4 階 山川国際特許事務所内 Tokyo (JP).

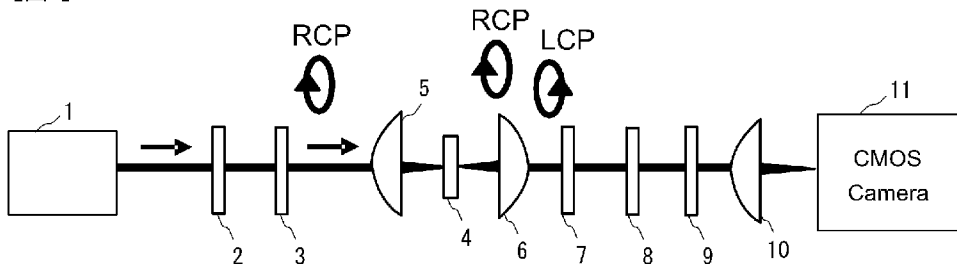
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,

(54) Title: UV LIGHT GENERATING DEVICE AND METHOD

(54) 発明の名称: 紫外光発生装置および方法

【図1】



(57) Abstract: Provided is a UV light generating device including: a short-pulse light generating device (1) that generates mid-infrared short-pulse light; a polarizer (2) and a 1/4 wavelength plate (3) that convert the mid-infrared short-pulse light to circularly polarized light; a solid medium (4) having refractive index anisotropy; and a collecting lens (5) that collects light emitted from the 1/4 wavelength plate (3) and radiates said light onto the solid medium (4).

(57) 要約: 紫外光発生装置は、中赤外短パルス光を発生する短パルス光発生装置(1)と、中赤外短パルス光を円偏光に変換する偏光子(2)および1/4波長板(3)と、屈折率異方性を有する固体媒質(4)と、1/4波長板(3)を出射した光を集光して固体媒質(4)に照射する集光レンズ(5)とを備える。

[続葉有]



TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

明 細 書

発明の名称： 紫外光発生装置および方法

技術分野

[0001] 本発明は、純度の高い軌道角運動量を有する広帯域の紫外光を生成することができる紫外光発生装置および方法に関するものである。

背景技術

[0002] 光の空間モードの制御、特に光の軌道角運動量（OAM: Orbital angular momentum）の制御は、超解像顕微技術、光通信、量子エンタングルメント、マイクロ粒子操作、レーザー加工、回転体のセンシングなど多様な応用に不可欠である（非特許文献1～6）。

[0003] 特に紫外域における光のOAMは超解像光リソグラフィー技術に応用できると期待されており（非特許文献7）、OAMの制御方法の開拓は重要な課題である。可視領域から近赤外領域の波長の光は、直接的に空間位相プレートや位相ホログラム、ナノ構造パターンを有するプレートなどを通して空間的光位相制御が可能である（非特許文献8）。しかしながら、深紫外域より短波長の領域では、対応する素子がないために光の空間位相を制御することが困難である。

[0004] そのため、深紫外光の空間位相変調のためにはまず可視領域、赤外領域の光に対して空間的位相パターンを施した後に、非線形光学過程によって紫外領域に変換する方法が有望である（非特許文献9）。非線形光学過程で最も極端な例が高次高調波発生であり、第2次高調波発生などの通常の非線形光学過程では発生できない真空紫外領域までの光が発生可能である（非特許文献10～12）。高次高調波発生は、広帯域なスペクトルをもつ高強度の超短パルスレーザーを媒質に照射し、照射した光の整数倍の周波数の光を発生する現象である。

[0005] 従来の例では、気体や固体媒質における高次高調波発生において液晶素子による励起光の偏光制御が用いられてきた（非特許文献10, 11）。ただ

し、液晶素子は特定の波長用に設計された素子であり、このような液晶素子を高次高調波発生の広帯域な励起光に適用する場合はOAMの純度の悪化という問題が起きる。例えば液晶素子やナノ構造体によって作られるらせん位相プレート、ホログラム、q-plateを用いる手法の場合、広帯域な光に対しては線状の位相欠陥の出現、空間的な色分散、色ごとの偏光状態の不均一性などが生じる（非特許文献8）。結果として純度の高いOAMをもつ深紫外領域、真空紫外領域の光の発生は困難であった。

[0006] 上述のように、深紫外領域、真空紫外領域において光の空間位相の直接的な制御は困難であり、可視光や赤外光の空間位相を制御した後に高次高調波発生による波長変換を行うことが有望な手法である。通常、励起光の位相制御に用いられる素子は特定波長に対してはよく働くが、高次高調波発生に必要な広帯域な光に対しては高い純度のOAMを生成できず、結果として得られる深紫外領域、真空紫外領域の光のOAMの純度が悪いという課題があった。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献1：K.I.Willig et al., “STED microscopy reveals that synaptotagmin remains clustered after synaptic vesicle exocytosis”, Nature, vol.440, pp.935-939, 2006

非特許文献2：J.Wang et al., “Terabit free-space data transmission employing orbital angular momentum multiplexing”, Nature photonics, vol.6, pp.488-496, 2012

非特許文献3：K.Toyoda et al., “Using optical vortex to control the chirality of twisted metal nanostructures”, Nano letters 12, pp.3645-3649, 2012

非特許文献4：M.Padgett and B.Richard, “Tweezers with a twist”, Nature photonics, vol.5, pp.343-348, 2011

非特許文献5：A.Mair et al., “Entanglement of the orbital angular mom

entum states of photons” , Nature, vol.412, pp.313-316, 2001

非特許文献6 : Martin P.J.Lavery et al., “Detection of a spinning object using light’s orbital angular momentum” , Science, vol.341, pp.537-540, 2013

非特許文献7 : T.F.Scott et al., “Two-color single-photon photoinitiation and photoinhibition for subdiffraction photolithography” , Science, vol.324, pp.913-917, 2009

非特許文献8 : X.Wang et al., “Recent advances on optical vortex generation” , Nanophotonics, vol.7, pp.1533-1556, 2018

非特許文献9 : K.Dholakia et al., “Second-harmonic generation and the orbital angular momentum of light” , Physical Review A, vol. 54, R3742, 1996

非特許文献10 : M.Zurch et al., “Strong-field physics with singular light beams” Nature Physics, vol.8, pp.743-746, 2012

非特許文献11 : D.Gauthier et al., “Orbital angular momentum from semiconductor high-order harmonics” , Optics letters, vol.44, pp.546-549, 2019

非特許文献12 : S.Ghimire and David A. Reis, “High-harmonic generation from solids” , Nature physics, vol.15, pp.10-16, 2019

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、ナノ構造体や液晶素子を用いることなく、純度の高い軌道角運動量を有する広帯域の紫外光を生成することができる紫外光発生装置および方法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

[0009] 本発明の紫外光発生装置は、中赤外短パルス光を発生するように構成された短パルス光発生装置と、前記中赤外短パルス光を円偏光に変換するように

構成された第1の光学系と、屈折率異方性を有する第1の固体媒質と、前記第1の光学系を出射した光を集光して前記第1の固体媒質に照射するように構成された第2の光学系とを備えることを特徴とするものである。

[0010] また、本発明の紫外光発生方法は、中赤外短パルス光を発生する第1のステップと、前記中赤外短パルス光を第1の光学系によって円偏光に変換する第2のステップと、前記第1の光学系を出射した光を第2の光学系によって集光して、屈折率異方性を有する第1の固体媒質に照射する第3のステップとを含むことを特徴とするものである。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、短パルス光発生装置と第1の光学系と第1の固体媒質と第2の光学系とを設けることにより、第1の固体媒質から生じる性質である光のスピン軌道相互作用を介して、高次高調波発生を起こすことで、純度の高い軌道角運動量を有する深紫外領域、真空紫外領域の光を生成することができる。本発明は、通常用いられる液晶等からなる光位相変調素子ではなく、均質な第1の固体媒質を用いるため、広帯域の紫外光を簡便に生成可能である。本発明は、高次高調波発生を用いることで深紫外領域、真空紫外領域まで純度の高い軌道角運動量を有する光を生成できるため、光リソグラフィの空間分解能向上のための光源としての利用が期待できる。また、本発明は、新たな分光技術やセンシングに対する応用が期待できる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図1は、本発明の第1の実施例に係る紫外光発生装置の構成を示すブロック図である。

[図2]図2は、本発明の第1の実施例に係る紫外光発生方法の処理の流れを説明するフローチャートである。

[図3A-3B]図3A-図3Bは、3次高調波の右周り円偏光、左回り円偏光の空間プロファイルを示す図である。

[図3C-3D]図3C-図3Dは、4次高調波の右周り円偏光、左回り円偏光の空間プロファイルを示す図である。

[図3E-3F]図3E-図3Fは、5次高調波の右周り円偏光、左回り円偏光の空間プロファイルを示す図である。

[図4]図4は、本発明の第2の実施例に係る紫外光発生装置の構成を示すブロック図である。

[図5]図5は、本発明の第2の実施例に係る紫外光発生方法の処理の流れを説明するフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0013] [発明の原理]

本発明では、固体媒質から生じる性質である光のスピン軌道相互作用（SOI : Spin-Orbit Interaction）を介して高次高調波発生を起こすことで、高いOAMの純度を有する、深紫外領域や真空紫外領域の光を生成する。SOIについては、例えば文献「E.Brasselet et al., “Dynamics of optical spin-orbit coupling in uniaxial crystals”, Optics letters, vol.34, pp.1021-1023, 2009」に記載されている。

[0014] 本発明では、OAMを持たない広帯域の超短パルスレーザー光を広帯域な1/4波長板に通した後に固体媒質中で光のSOIを引き起こし、SOIの出現と同時またはその後に高次高調波発生を行う。これにより、本発明では、純度の高いOAMを有する、深紫外領域や真空紫外領域の光を生成可能とする。

[0015] 通常、円偏光に対応するスピン角運動量自由度と軌道角運動量自由度とは独立の関係にある。SOIは、円偏光に対応するスピン角運動量自由度と軌道角運動量自由度との間で光強度のやりとりを起こす現象である。この現象は、屈折率異方性を有する均質な結晶中に高いNA（Numerical Aperture）でレーザー光を集光した際に複屈折の結果として生じる。異方的な屈折率は、多くの媒質で広い帯域で存在するため、広帯域の光周波数におけるOAM変換に利用可能である。まず、ガウシアンビームに対して光のスピンに対応する円偏光を広帯域で付与した後に、光のスピン角運動量を軌道角運動量に変換すれば、特殊な空間位相変調素子を用いずに純度の高い軌道角運動量を

有する光を生成可能である。生成した光を高次高調波発生に用いれば、結果として得られる深紫外領域や真空紫外領域の光も高い純度のOAMを有する。

[0016] [第1の実施例]

以下、本発明の実施例について図面を参照して説明する。図1は本発明の第1の実施例に係る紫外光発生装置の構成を示すブロック図である。紫外光発生装置は、短パルス光発生装置1と、偏光子2と、1/4波長板3と、固体媒質4と、集光レンズ5と、コリメートレンズ6と、1/4波長板7と、偏光子8と、カラーフィルター9とを備えている。

[0017] 図2は本実施例の紫外光発生方法の処理の流れを説明するフローチャートである。短パルス光発生装置1は、固体高次高調波発生のために、軸対称な空間モードを有する高強度の中赤外短パルス光を発生する（図2ステップS100）。短パルス光発生装置1は、光源となるTi:Sapphireマルチパス増幅器と、光パラメトリック増幅器とから構成される。マルチパス増幅器から出力されるパルスレーザー光は、繰り返し周波数が3kHz、1パルスあたりのエネルギーが3mJ、パルス幅が20fsである。このパルスレーザー光を光パラメトリック増幅器によって波長2400nmの光に変換する。

[0018] 偏光子2と1/4波長板3とは、第1の光学系を構成している。短パルス光発生装置1から放射された中赤外短パルス光を偏光子2と1/4波長板3に通すことで右回り円偏光パルス（RCP）を生成する（図2ステップS101）。

[0019] 固体媒質4は、光が照射される方向と垂直な面と、光が照射される方向と平行な軸との間で屈折率が異なる屈折率異方性を有する。高いNAの集光レンズ5（第2の光学系）は、1/4波長板3を通過した右回り円偏光パルスを集光して固体媒質4に照射する（図2ステップS102）。

[0020] 本実施例では、固体媒質4として厚さ2mmの ϵ -GaSe結晶を用い、焦点距離6mmの集光レンズ5によって光を集光して、高次高調波を発生させた。固体媒質4は、大きな屈折率異方性を有する媒質が好ましく、GaS

e 結晶以外にも $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ などの固体結晶や人工構造を用いてもよい。

[0021] コリメートレンズ 6 は、固体媒質 4 によって発生した高次高調波を平行光に変換する（図 2 ステップ S 1 0 3）。平行光を広帯域の $1/4$ 波長板 7 と偏光子 8 とに通すことで高次高調波の一方の円偏光のみを取り出す（図 2 ステップ S 1 0 4）。カラーフィルター 9 は、偏光子 8 を通過した円偏光のうち特定の次数の高調波のみを通過させる（図 2 ステップ S 1 0 5）。こうして、本実施例では、深紫外領域や真空紫外領域の光を生成することができる。

[0022] カラーフィルター 9 を通過した光を集光レンズ 1 0 によって集光し、CMOS カメラ 1 1 で空間プロファイルを観測した。なお、以下の図 3 A～図 3 F では、分かり易くするため、CMOS カメラ 1 1 の受光面上において光が検出された部分のみを黒く記載している。

[0023] 図 3 A は CMOS カメラ 1 1 で取得した 3 次高調波の右回り円偏光（RCP）の空間プロファイルを示す図、図 3 B は 3 次高調波の左回り円偏光（LCP）の空間プロファイルを示す図である。右回り円偏光、左回り円偏光のどちらの成分についても、中心に光強度が無い円環状の空間プロファイルが観測された。文献「N.Saito et al., “Observation of selection rules for circularly polarized fields in high-harmonic generation from a crystalline solid”, Optica, vol.4, pp,1333-1336, 2017」において報告された薄い GaSe 結晶における固体 HHG（high-harmonic generation）の光のスピ角運動量保存則によると、GaSe の面内の 3 回回転対称性により円偏光の光照射の下で GaSe 結晶からの 3 次高調波は禁制になるはずである。

[0024] 本実施例において 3 次高調波の円環状の空間プロファイルが観測されたことは、結晶内での励起光および高調波の伝搬中に光のスピ角運動量と軌道角運動量との間で光強度分布がやりとりされることによって、光の純粋なスピ角運動量保存則だけでは禁制だった高調波が許容になったと考えられる。

[0025] 図3CはCMOSカメラ11で取得した4次高調波の右回り円偏光の空間プロファイルを示す図、図3Dは4次高調波の左回り円偏光の空間プロファイルを示す図である。右回り円偏光、左回り円偏光のどちらの偏光状態においても、ビームの角度方向に強度の節を複数持つようなプロファイルが観測された。この節は、同時に存在する複数の軌道角運動量成分が干渉して得られる特徴的なプロファイルである。図3Cにおいて、プロファイルが明確に6つの節を持つことは、OAMが6だけ異なる光の多重状態が発生していることを示す。

[0026] 図3EはCMOSカメラ11で取得した5次高調波の右回り円偏光の空間プロファイルを示す図、図3Fは5次高調波の左回り円偏光の空間プロファイルを示す図である。3次高調波と同様に円環状のプロファイルになっていることから、有限のOAMを有する光になっていると考えられる。

[0027] 本実施例では、5次までの高次高調波について示したが、励起光として使用するレーザーの周波数や非線形光学媒質、レーザー強度を最適化すれば、より高次で高い周波数の高調波を発生できるため（非特許文献12）、軌道角運動量の大きさの制御が可能な、深紫外領域や真空紫外域での光源を実現することができる。

[0028] なお、コリメートレンズ6と1/4波長板7と偏光子8とカラーフィルター9と集光レンズ10とCMOSカメラ11とは、空間プロファイルを観測するための構成であって、本発明において必須の構成要件ではない。

[0029] [第2の実施例]

次に、本発明の第2の実施例について説明する。第1の実施例では、1つの固体媒質内で光のSOLによる有限OAM光の発生と高次高調波発生とを行い、次数ごとに異なるOAMの多重状態が生成できることを示した。固体媒質を2つに分離した場合には、各次数で単一のOAM状態を生成することも可能である。

[0030] 図4は本発明の第2の実施例に係る紫外光発生装置の構成を示すブロック図である。本実施例の紫外光発生装置は、短パルス光発生装置1と、偏光子

2と、1／4波長板3と、固体媒質4aと、集光レンズ5（第2の光学系）と、コリメートレンズ6（第3の光学系）と、1／4波長板12と、偏光子13と、集光レンズ14と、固体媒質4bと、コリメートレンズ15とを備えている。

[0031] 図5は本実施例の紫外光発生方法の処理の流れを説明するフローチャートである。本実施例では、固体媒質と集光レンズとコリメートレンズとを含む構成を2つに増やし、固体媒質4aと集光レンズ5とコリメートレンズ6とを光のS O Iによる有限OAM光の発生に用いる。偏光子2と1／4波長板3と固体媒質4aと集光レンズ5とコリメートレンズ6とからなる構成は、第1の実施例と同様であり、図5のステップS100～S103の処理は第1の実施例で説明したとおりである。固体媒質4aは、第1の実施例の固体媒質4と同様に屈折率異方性を有するものである。

[0032] 固体媒質4bと集光レンズ14とコリメートレンズ15とは、高次高調波発生に使用される。固体媒質4bとしては、高次高調波発生が行える固体であればどのような媒質でもよく、例としてはSiO₂やMgOなどの固体結晶が挙げられる。

[0033] コリメートレンズ6と集光レンズ14との間には、1／4波長板12と偏光子13とが挿入される。1／4波長板12と偏光子13とは、第4の光学系を構成している。1／4波長板12の長軸と偏光子13の透過軸とを45度に設定することで、コリメートレンズ6を出射した光のうち、OAMが2となる光を選択的に通過させることができる（図5ステップS106）。ここで、1／4波長板12の長軸と偏光子13の透過軸とを45度に設定することは、固体媒質4aが無いと仮定した場合に、コリメートレンズ6を出射した光が1／4波長板12と偏光子13とを通過しないことを意味する。

[0034] 集光レンズ14（第5の光学系）は、偏光子13を通過した直線偏光パルスを集光して固体媒質4bに照射する（図5ステップS107）。コリメートレンズ15は、固体媒質4bによって発生した高次高調波を平行光に変換する（図5ステップS108）。固体媒質4bによる高次高調波発生によっ

て、コリメートレンズ6を出射した光のOAMの整数倍のOAMを有する紫外光を生成することができる。

[0035] 上記の実施例の一部又は全部は、以下の付記のようにも記載されうるが、以下には限られない。

[0036] (付記1) 本発明の紫外光発生装置は、中赤外短パルス光を発生するように構成された短パルス光発生装置と、前記中赤外短パルス光を円偏光に変換するように構成された第1の光学系と、屈折率異方性を有する第1の固体媒質と、前記第1の光学系を出射した光を集光して前記第1の固体媒質に照射するように構成された第2の光学系とを備える。

[0037] (付記2) 付記1記載の紫外光発生装置において、前記第1の光学系は、前記短パルス光発生装置から放射された中赤外短パルス光が入射する第1の偏光子と、前記第1の偏光子を出射した光が入射する第1の1/4波長板とから構成される。

[0038] (付記3) 付記1または2記載の紫外光発生装置は、前記第1の固体媒質によって発生した高次高調波を平行光に変換するように構成された第3の光学系と、前記第3の光学系を出射した光のうち、軌道角運動量が2となる光を選択的に通過させるように構成された第4の光学系と、非線形光学特性を有する第2の固体媒質と、前記第4の光学系を出射した光を集光して前記第2の固体媒質に照射するように構成された第5の光学系とをさらに備える。

[0039] (付記4) 付記3記載の紫外光発生装置において、前記第4の光学系は、前記第3の光学系を出射した光が入射する第2の1/4波長板と、前記第2の1/4波長板を出射した光が入射する第2の偏光子とから構成される。

[0040] (付記5) 本発明の紫外光発生方法は、中赤外短パルス光を発生する第1のステップと、前記中赤外短パルス光を第1の光学系によって円偏光に変換する第2のステップと、前記第1の光学系を出射した光を第2の光学系によって集光して、屈折率異方性を有する第1の固体媒質に照射する第3のステップとを含む。

[0041] (付記6) 付記5記載の紫外光発生方法は、前記第1の固体媒質によって

発生した高次高調波を第3の光学系によって平行光に変換する第4のステップと、前記第3の光学系を出射した光を第4の光学系に通して、軌道角運動量が2となる光を選択的に通過させる第5のステップと、前記第4の光学系を出射した光を集光して、非線形光学特性を有する第2の固体媒質に照射する第6のステップとをさらに含む。

産業上の利用可能性

[0042] 本発明は、深紫外領域や真空紫外領域の光を生成する技術に適用することができる。

符号の説明

[0043] 1…短パルス光発生装置、2, 8, 13…偏光子、3, 7, 12…1/4波長板、4, 4a, 4b…固体媒質、5, 10, 14…集光レンズ、6, 15…コリメートレンズ、9…カラーフィルター、11…CMOSカメラ。

請求の範囲

- [請求項1] 中赤外短パルス光を発生するように構成された短パルス光発生装置と、
- 前記中赤外短パルス光を円偏光に変換するように構成された第1の光学系と、
- 屈折率異方性を有する第1の固体媒質と、
- 前記第1の光学系を出射した光を集光して前記第1の固体媒質に照射するように構成された第2の光学系とを備えることを特徴とする紫外光発生装置。
- [請求項2] 請求項1記載の紫外光発生装置において、
- 前記第1の光学系は、
- 前記短パルス光発生装置から放射された中赤外短パルス光が入射する第1の偏光子と、
- 前記第1の偏光子を出射した光が入射する第1の1/4波長板とから構成されることを特徴とする紫外光発生装置。
- [請求項3] 請求項1または2記載の紫外光発生装置において、
- 前記第1の固体媒質によって発生した高次高調波を平行光に変換するように構成された第3の光学系と、
- 前記第3の光学系を出射した光のうち、軌道角運動量が2となる光を選択的に通過させるように構成された第4の光学系と、
- 非線形光学特性を有する第2の固体媒質と、
- 前記第4の光学系を出射した光を集光して前記第2の固体媒質に照射するように構成された第5の光学系とをさらに備えることを特徴とする紫外光発生装置。
- [請求項4] 請求項3記載の紫外光発生装置において、
- 前記第4の光学系は、
- 前記第3の光学系を出射した光が入射する第2の1/4波長板と、
- 前記第2の1/4波長板を出射した光が入射する第2の偏光子とか

ら構成されることを特徴とする紫外光発生装置。

[請求項5]

中赤外短パルス光を発生する第1のステップと、

前記中赤外短パルス光を第1の光学系によって円偏光に変換する第2のステップと、

前記第1の光学系を出射した光を第2の光学系によって集光して、屈折率異方性を有する第1の固体媒質に照射する第3のステップとを含むことを特徴とする紫外光発生方法。

[請求項6]

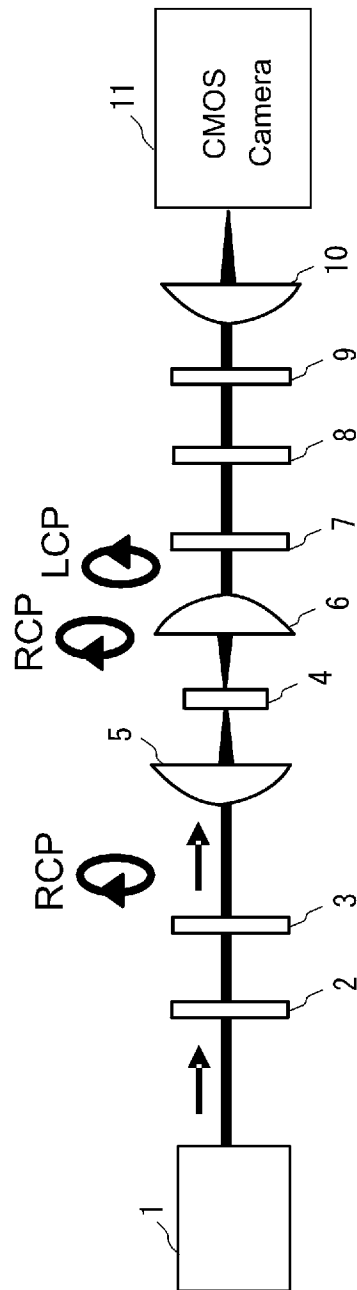
請求項5記載の紫外光発生方法において、

前記第1の固体媒質によって発生した高次高調波を第3の光学系によって平行光に変換する第4のステップと、

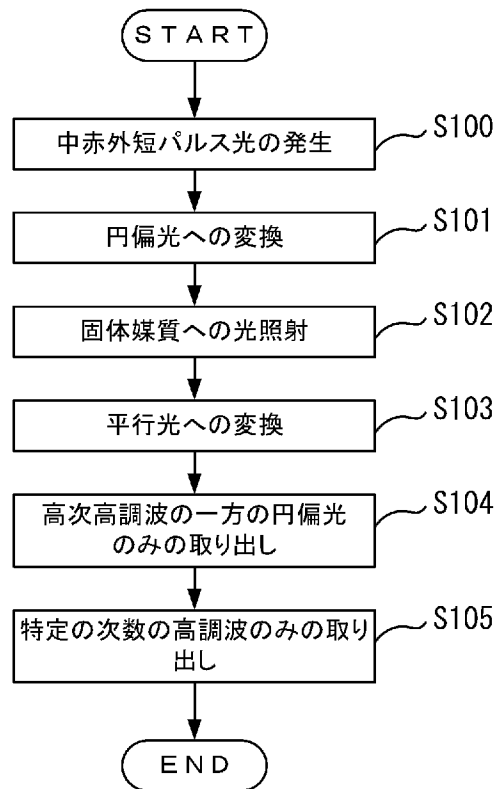
前記第3の光学系を出射した光を第4の光学系に通して、軌道角運動量が2となる光を選択的に通過させる第5のステップと、

前記第4の光学系を出射した光を集光して、非線形光学特性を有する第2の固体媒質に照射する第6のステップとをさらに含むことを特徴とする紫外光発生方法。

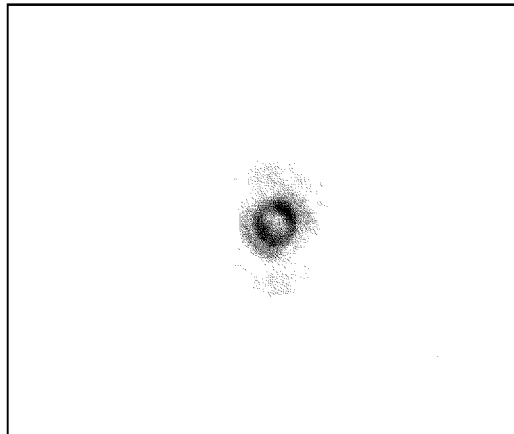
[図1]



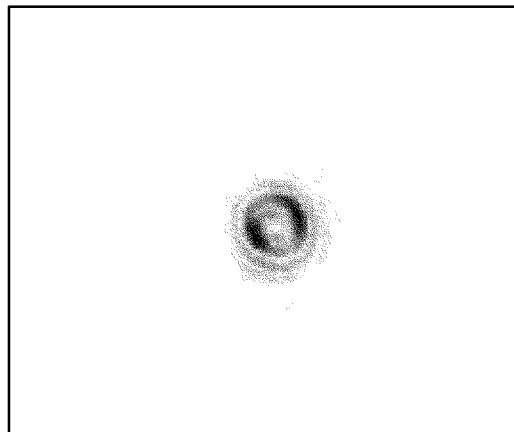
[図2]



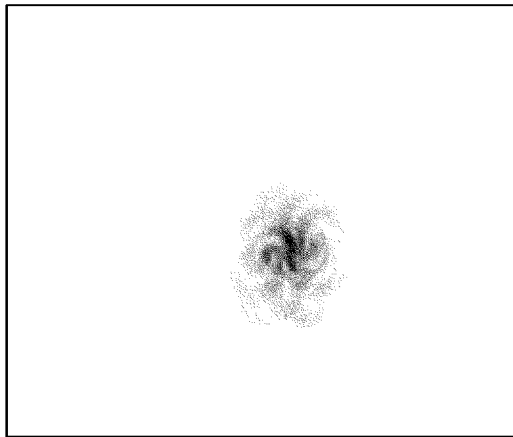
[図3A]



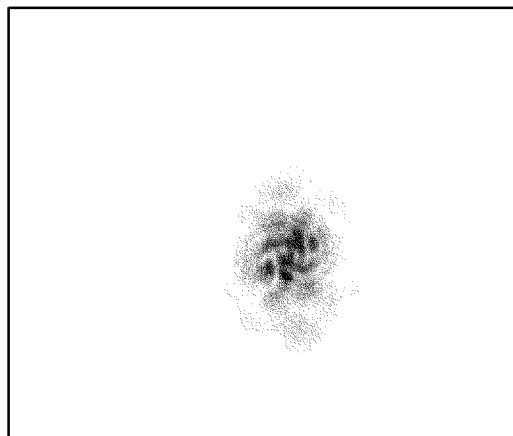
[図3B]



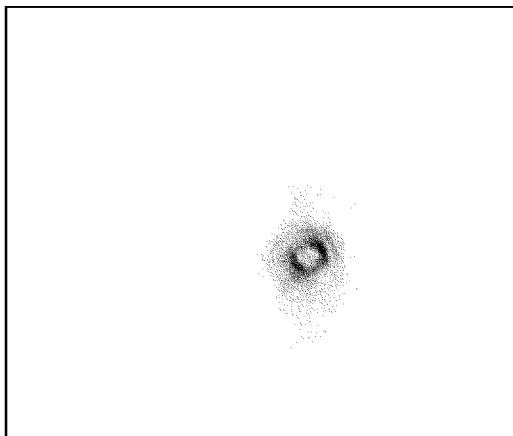
[図3C]



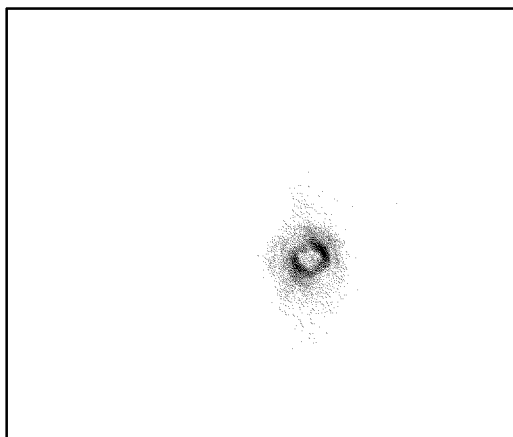
[図3D]



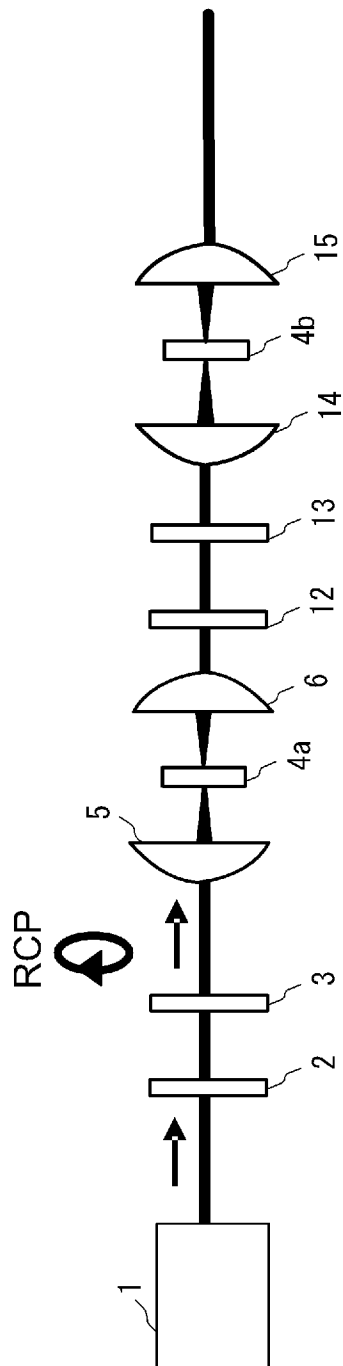
[図3E]



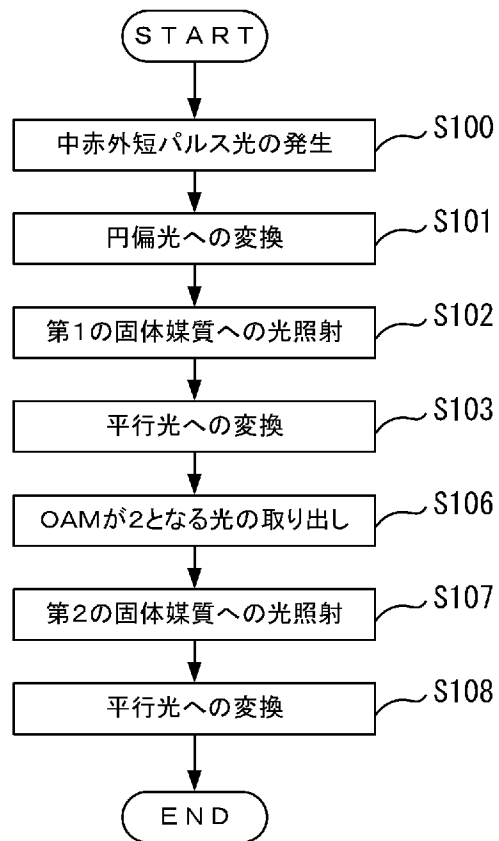
[図3F]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/048202

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01S 3/10**(2006.01)i

FI: H01S3/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S3/00-3/02, 3/04-3/0959, 3/10-3/102, 3/105-3/131, 3/136-3/213, 3/23-4/00, G02F1/00-1/125, 1/21-7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023

Registered utility model specifications of Japan 1996-2023

Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2022-41734 A (KYOTO UNIVERSITY) 11 March 2022 (2022-03-11)	1-2, 5
A	paragraphs [0067]-[0069], fig. 1, 3-4	3-4, 6
Y	JP 2007-128017 A (OSAKA UNIVERSITY) 24 May 2007 (2007-05-24)	1-2, 5
	paragraphs [0039]-[0042], fig. 8	
A	US 2006/0214114 A1 (LIU, Kai) 28 September 2006 (2006-09-28)	1-6
	entire text, all drawings	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 February 2023

Date of mailing of the international search report

28 February 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)

3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915

Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/048202

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2022-41734	A	11 March 2022	(Family: none)	
JP	2007-128017	A	24 May 2007	(Family: none)	
US	2006/0214114	A1	28 September 2006	WO	2006/101756 A1

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01S 3/10(2006.01)i FI: H01S3/10										
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H01S3/00-3/02, 3/04-3/0959, 3/10-3/102, 3/105-3/131, 3/136-3/213, 3/23-4/00, G02F1/00-1/125, 1/21-7/00 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2023年</td> </tr> </table> 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2023年	日本国実用新案登録公報	1996-2023年	日本国登録実用新案公報	1994-2023年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2023年									
日本国実用新案登録公報	1996-2023年									
日本国登録実用新案公報	1994-2023年									
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
Y	JP 2022-41734 A（国立大学法人京都大学）11.03.2022（2022-03-11） 段落0067-0069, 図1, 3-4	1-2, 5								
A		3-4, 6								
Y	JP 2007-128017 A（国立大学法人大阪大学）24.05.2007（2007-05-24） 段落0039-0042, 図8	1-2, 5								
A	US 2006/0214114 A1（LIU, Kai）28.09.2006（2006-09-28） 全文, 全図	1-6								
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。										
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献										
国際調査を完了した日 10.02.2023		国際調査報告の発送日 28.02.2023								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 高椋 健司 2K 3715 電話番号 03-3581-1101 内線 3255								

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/048202

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2022-41734	A	11.03.2022	(ファミリーなし)			
JP	2007-128017	A	24.05.2007	(ファミリーなし)			
US	2006/0214114	A1	28.09.2006	WO	2006/101756	A1	