

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14435

研究課題名（和文）デュアルコム分光を用いた高分解能ラマン分光法の開発と展開

研究課題名（英文）Development of high-resolution Raman spectroscopies using dual-comb spectroscopy

研究代表者

西山 明子 (Nishiyama, Akiko)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・特別研究員

研究者番号：00770364

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：デュアルコム分光法を気相分子の高分解能ラマン分光に適用するために、研究期間内には主に光コム分光法の高感度化の研究を行った。デュアルコム分光法に変調分光法やモードフィルタリング技術を適用し、測定感度の向上を実証した。また、共振器光コム分光法を適用することで、非常に弱い倍音遷移の吸収線の観測に成功した。この共振器分光法は吸収分光の測定感度を向上させるだけでなく、共振器内での光強度の増大が非線形ラマン分光への応用において利点となる。さらに、非線形ラマン分光法において十分な信号強度を得るため、高強度光周波数コム光源を開発した。本研究は、研究代表者の異動による応募資格喪失のため2018年度に終了した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、赤外吸収分光によっては未解明であった気相分子の振動励起状態のダイナミクスを明らかにするために、赤外吸収分光とは選択則が異なるラマン遷移をデュアルコム分光法によって精密計測することを目指した。研究内容としては、微小なラマン信号を観測するための光コム分光法の高感度化、非線形ラマン分光法に適用するための高強度光周波数コム光源の開発等を行った。研究代表者の所属変更のため、デュアルコムを用いた高分解能ラマン分光の実現には至らなかったものの、今回得られた成果はデュアルコム分光による高分解能ラマン分光を実現するために有用な手法を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：In order to apply the dual-comb spectroscopy to high-resolution Raman spectroscopy of gas phase molecules, we studied on the improvement of measurement sensitivity of optical frequency comb spectroscopy. We applied modulation spectroscopy and mode filtering technique to dual-comb spectroscopy, and demonstrated the improvement of measurement sensitivity. In addition, we succeeded to observe absorption spectra of a weak overtone band of a gas phase molecule employing comb-based cavity enhanced spectroscopy. The cavity enhanced spectroscopy also gives an advantage in application to nonlinear Raman spectroscopy because of the enhancement of resonant mode powers. Furthermore, we developed a high-power optical frequency comb source to realize sufficient signal intensity in nonlinear Raman spectroscopy. The project finished in March 2019.

研究分野：高分解能分子分光

キーワード：デュアルコム 光周波数コム ラマン 高分解能 分子分光

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

分子構造の基礎研究、環境・生命科学などへの応用研究に関連して、高分解能分光による精密計測の重要性が高まっている。大気汚染物質や生体分子の反応過程には未解明なものも多く、これらの解明に向けては、基本的な分子の分光学的性質を研究することが極めて重要である。

近年、新しい高分解能分子分光の手法として、2台の光周波数コムを用いた分光法であるデュアルコム分光法[1]が盛んに研究されている。デュアルコム分光法によれば、高精度・高分解能・広波長域でのスペクトル取得が瞬時に可能である。しかし、光周波数コムのモード1本あたりの光強度は小さいため、デュアルコム分光を非線形分光に応用することは難しい。そのため、これまでほとんどのデュアルコム分光の研究は、単純な吸収分光への適用にとどまっていた。

デュアルコム分光法のラマン分光への応用として、これまでに、CARS (Coherent anti-Stokes Raman spectroscopy) への応用が報告された[2]。この研究は、顕微ラマン分光による高速イメージングを目指したものであるため、要求される分解能は低く、数 cm^{-1} 程度であった。デュアルコムを用いたラマン分光法を気相分子の測定に適用すれば、光周波数コムの高い周波数精度と高分解能特性を最大限生かしたラマン分光が可能になる。ラマン分光法は、赤外吸収とは選択則が異なる遷移を観測することが可能で、未解明な分子の振動励起状態ダイナミクスを明らかにするための強力な手段となる。

2. 研究の目的

(1) 研究開始時点での目的として、デュアルコム分光法を誘導ラマン型 2 重共鳴分光に応用することで、光周波数コムが持つ究極の周波数精度・分解能でのラマン分光を実現し、分子の振動励起状態の詳細な構造を明らかにすることを目指した。また、デュアルコム CARS 分光法の気相分子の高分解能分光への応用を試み、様々な分子に広く適用可能な高分解能ラマン分光システムの開発することを目指した。

(2) デュアルコム分光法は、広波長域スペクトルの同時計測を吸収分光ベースで行うために、一般に測定感度は悪く、この測定感度の制限が、分光システムの応用範囲を制限している。研究開始後、デュアルコム分光法のラマン分光への適用において測定感度が問題となった。そこで、弱いラマン散乱の信号を取得するために、デュアルコム分光法の高感度化を目指した。

3. 研究の方法

(1) デュアルコム分光法の誘導ラマン型 2 重共鳴分光への適用

研究開始以前に研究代表者は、はしご型ドップラーフリー 2 重共鳴分光法をはじめデュアルコム分光法に適用した[3]。ドップラーフリーデュアルコム 2 重共鳴分光法では、励起用単一モードレーザーで分子を速度選択的に中間準位に励起し、中間準位からの遷移をデュアルコム分光法で測定する。この分光手法は、高い強度を持つ単一モードレーザーを励起光源とすることで、光周波数コムのモードパワーが低いという弱点を補うことができる。また、誘導ラマン型 2 重共鳴分光法に同じ原理が適用可能である。原理検証として、アセチレン気体の誘導ラマン型 2 重共鳴遷移の測定を試みた。

(2) 測定感度向上を目指した取り組み

変調分光法のデュアルコム分光法への適用

デュアルコム分光法においては、積算時間中に生じる光周波数コムのスペクトル強度の変化が測定感度を制限する。そこで、ドップラーフリーデュアルコム 2 重共鳴分光法の励起光強度に変調を与えることで、光周波数コムのスペクトル強度の変化を除いたバックグラウンドフリーの信号を取得する方法を提案した。

モードフィルタリングによる高感度デュアルコム分光法

モードフィルタリング技術[4]を用いると、光周波数コムのモード間隔周波数を整数倍に拡大することができる。モード間隔周波数の拡大によって、ある平均入射パワーにおけるモード当たりのパワーが増加すると同時に、検出器の飽和抑制の効果がみられる。そこで、デュアルコム光源にモードフィルタリングを用い、デュアルコム分光計測の高感度化を行った。

共振器エンハンスド分光法による高感度化

光周波数コムを光源とした共振器エンハンスド分光法では、測定サンプルの外側に高フィネス共振器を構成し、コムの多数のモードを同時に共鳴させることで広い波長範囲を高感度に測定することが可能である。この手法を適用し、非常に弱い遷移である CO 気体の倍音遷移の吸収スペクトルを観測した。

高強度光周波数コム光源の開発

CARS 分光法は、非線形ラマン過程を用いた分光法であり、高強度なレーザー光源を用いることで観測に十分な信号強度が得られる。そこで光周波数コム光源としてモード同期 Yb 添加ファイバーレーザーを製作した。モード同期 Yb 添加ファイバーレーザーは、半導体レーザーを励起光源とした安価な構成であるにもかかわらず、容易に高い出力が得られる。チャープパルス増幅を用いた光増幅器とパルス圧縮のシステムを構築し、高強度な光周波数コム光源を開発した。

4. 研究成果

(1) デュアルコム誘導ラマン型 2 重共鳴分光法の原理検証
 励起用レーザーとして近赤外波長の外部共振器型レーザー、プローブとしてデュアルコム光源を用い、アセチレン気体の誘導ラマン型 2 重共鳴遷移の測定を試みた。しかし、デュアルコム分光法の測定感度が不十分であり、誘導ラマン型 2 重共鳴遷移の信号検出には至らなかった。この結果から、デュアルコム分光法のラマン分光への適用のためには測定感度向上が必要であることが明確になり、高感度化の研究をスタートすることとなった。

(2) 光周波数コム分光法の測定感度向上

変調分光法のデュアルコム分光法への適用はしご型ドップラフリー 2 重共鳴分光法において励起光強度を Δf_{rep} の整数倍の周波数で変調することにより、バックグラウンドフリーの 2 重共鳴信号を取り出す手法を提案した。ここで、 Δf_{rep} は 2 台の光周波数コムのモード間隔周波数の差である。原理検証では、信号雑音比(SNR)を最大 6 倍向上させることに成功した(図 1)。提案した手法は、誘導ラマン型 2 重共鳴の測定だけでなく、デュアルコムを用いたポンププローブ分光など、広い応用に適用可能である。

モードフィルタリングによる高感度デュアルコム分光
 光周波数コムのモード間隔周波数 $f_{\text{rep}} = 57 \text{ MHz}$ を、ファブリペロー共振器を用いたモードフィルタリングによって 26 倍 ($26 \times f_{\text{rep}} = 1.47 \text{ GHz}$) に拡大し、デュアルコム光源として用いた。検出器の飽和入射パワーで観測したデュアルコムのヘテロダイニートには、モードフィルタリングによって 52.7 dB の信号増強が生じた。同じ測定の条件(積算時間 2 秒、検出器への入射パワー $10 \mu\text{W}$)で行った HCN 気体の吸収スペクトルをモードフィルタリングの有無で比較すると、図 2 のように明らかな SNR の向上が見られた。この研究によってデュアルコム分光の高感度化におけるモードフィルタリングの有用性が示された。

共振器エンハンスド分光法による高感度化

近赤外波長の光周波数コムを用いたキャビティーエンハンスド吸収分光システムを構築し、この分光法における感度と精度の評価のために、近赤外波長における CO 気体の 0-3 バンドの吸収分光計測を行った。高フィネス共振器を用いたことで、13000 倍の測定感度の向上を達成し、図 3 のように高い SNR で遷移強度の弱い倍音遷移を観測することができた。この実験結果からは、将来のデータベースのために有用な、CO 気体の吸収線形における collisional 効果に関するデータが得られた。この共振器エンハンスド分光法は、吸収分光の測定感度を向上させるだけでなく、共振器内でのモードパワーの増大が非線形ラマン分光への応用においても利点となる。

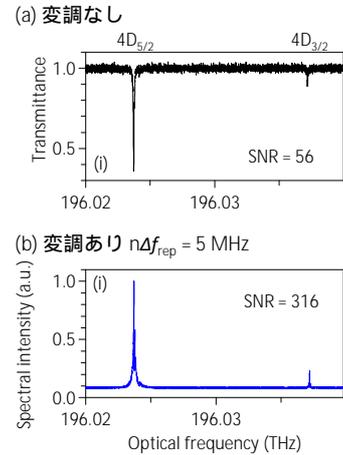


図 1 : Rb の 2 重共鳴信号。
 (a)変調なし、(b)変調あり

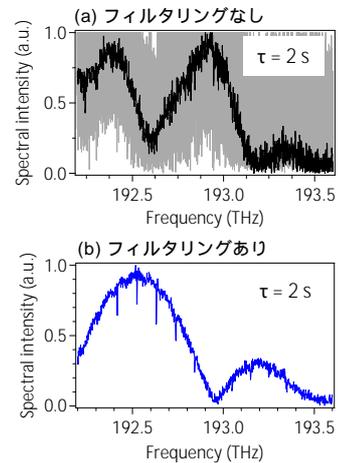


図 2 : デュアルコム分光法で取得した HCN の吸収スペクトル。
 (a)モードフィルタリングなし
 (b)モードフィルタリングあり。

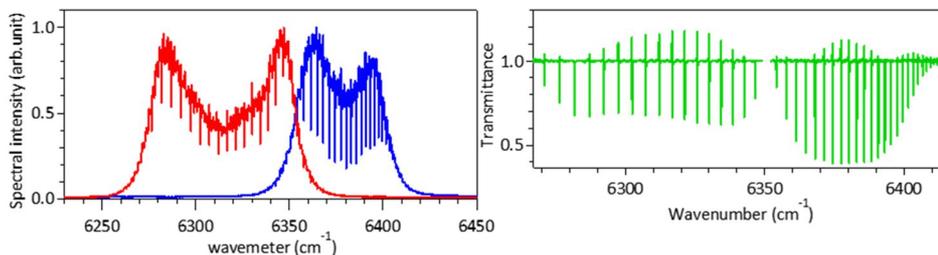


図 3 : CO 気体の 0-3 バンド。(左) 共振器を透過した光周波数コムのスペクトル。(右) 規格化スペクトル。

高強度光周波数コム光源の開発

図 4 のように、モード同期 Yb 添加ファイバーレーザー(繰返し周波数 125 MHz、中心波長 $1 \mu\text{m}$) を制作した。光増幅器にはチャープパルス増幅の手法を用い、最大 6 W の平均出力が得られた。またパルス圧縮後の時間幅は 175 fs であった。この光源を用いた CARS 分光法の NO_3 分子の高分解能計測への適用の可能性を、光源パワーや分解能の点から検討した。

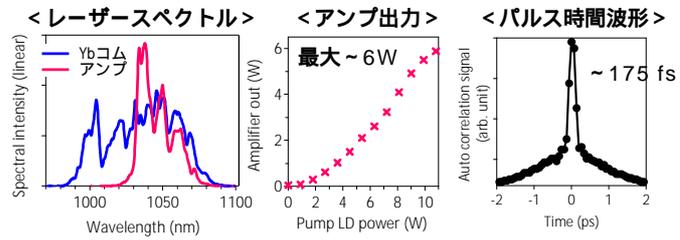


図4：(左)製作したモード同期 Yb ファイバーレーザーの写真。
(右)レーザースペクトル、平均出力、パルス時間波形。

本研究は研究代表者の所属機関異動による応募資格喪失のため、2018年度をもって終了した。

<引用文献>

1. Coddington, et al., Optica 3(4), 414 (2016).
2. T. Ideguchi, et al., Nature 502, 355 (2013).
3. A. Nishiyama, et al., Opt.Express, 24, 25894 (2016).
4. S. A. Diddams et al., Opt. Express 17(5), 3331–3340 (2009).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 西山 明子, Dominik Charczun, Grzegorz Kowzan, Piotr Maslowski	4. 巻 67
2. 論文標題 光周波数コムを光源とした高分解能フーリエ変換分光法と高感度共振器分光への応用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 分光研究	6. 最初と最後の頁 157-160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Akiko Nishiyama, Satoru Yoshida, Takuya Hariki, Yoshiaki Nakajima, and Kaoru Minoshima	4. 巻 25
2. 論文標題 Sensitivity improvement of dual-comb spectroscopy using mode-filtering technique	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 31730-31738
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.25.031730	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yoshiaki Nakajima, Akiko Nishiyama, and Kaoru Minoshima	4. 巻 26
2. 論文標題 Mode-filtering technique based on all-fiberbased external cavity for fiber-based optical frequency comb	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 4656-4664
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.26.004656	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 A. Nishiyama, Y. Nakajima, K. Nakagawa, A. Onae, H. Sasada, and K. Minoshima	4. 巻 27
2. 論文標題 Optical-optical double-resonance dual-comb spectroscopy with pump-intensity modulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 37003-37011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.037003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 A. Nishiyama, G. Kowzan, D. Charczun, R. S. Trawinski, and P. Maslowski	4. 巻 33
2. 論文標題 Optical frequency comb-based cavity-enhanced Fourier-transform spectroscopy: Application to collisional line-shape study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chinese Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 23-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1674-0068/cjcp1911192	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

[学会発表] 計34件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 21件)

1. 発表者名 廣田榮治, 西山明子
2. 発表標題 Development of high-resolution molecular spectroscopy using frequency comb
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣田榮治, 西山明子
2. 発表標題 FC高分解能高感度共鳴ラマン分光法の開発と N03ラジカルへの応用
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Nishiyama
2. 発表標題 Broadband precise spectroscopy using optical frequency combs
3. 学会等名 UltrafastLight-2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 D. Charczun, G. Kowzan, A. Nishiyama, A. Cygan, R. S. Trawinski, D. Lisak, P. Maslowski
2 . 発表標題 Cavity-Enhanced Direct Optical Frequency Comb Spectroscopy with Tooth-Width Limited Resolution
3 . 学会等名 CLEO 2019 (Conference on Lasers and Electro-Optics) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yoshiaki Nakajima, Takuya Hariki, Akiko Nishiyama, Kaoru Minoshima
2 . 発表標題 Stabilized All-Fiber-Based Mode-Filtering Technique for the Generation of a GHz-Repetition-Rate Frequency Comb
3 . 学会等名 CLEO 2019 (Conference on Lasers and Electro-Optics) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 D. Charczun, G. Kowzan, A. Nishiyama, P. Staniszewski, A. Cygan, R. S. Trawinski, D. Lisak, P. Maslowski
2 . 発表標題 Comb-based Fourier-Transform Spectrometry for Broadband Measurements of Absorption and Dispersion
3 . 学会等名 CLEO/Europe-EQEC 2019, Germany, June, 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 G. Kowzan, D. Charczun, A. Nishiyama, P. Staniszewski, A. Cygan, R. S. Trawinski, D. Lisak, P. Maslowski
2 . 発表標題 Cavity-Enhanced Direct Optical Frequency Comb Spectroscopy with Tooth-Width Limited Resolution
3 . 学会等名 13th European conference on atoms, molecules and photons (ECAMP13) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Nishiyama, G. Kowzan, D. Charczun, P. Staniszewski, A. Cygan, R. S. Trawinski, D. Lisak, P. Maslowski
2. 発表標題 Highly Sensitive and Broadband Frequency Comb Spectroscopy Using a High Finesse Cavity
3. 学会等名 The 3rd Asian workshop on molecular spectroscopy (AWMS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Nishiyama, F. Thibault, M. Slowinski, M. Zaborowski, N. Stolarczyk, D. Charczun, A. Cygan, S. Wojtewicz, G. Kowzan, P. Maslowski, R. Ciurylo, D. Lisak, P. Wcislo
2. 発表標題 Accurate measurement of helium-perturbed deuterium spectra for collisional studies and validation of the ab initio potential energy surfaces
3. 学会等名 The 3rd Asian workshop on molecular spectroscopy (AWMS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西山明子
2. 発表標題 光周波数コムを用いた高分解能・高感度分子分光の研究
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西山明子, Grzegorz Kowzan, Dominik Charczun, Piotr Maslowski
2. 発表標題 光周波数コムを用いたCO気体の高感度分光計測
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Zaborowski, F. Thibault, S. Wojtewicz, A. Cygan, G. Kowzan, P. Maslowski, M. Slowinski, A. Nishiyama, N. Stolarczyk, D. Lisak, R. Ciurylo, P. Wcislo
2 . 発表標題 Sub-MHz deuterium spectroscopy and comparison with ab initio calculations of the line-shape effects
3 . 学会等名 The 25th High resolution molecular spectroscopy (HRMS) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Nishiyama, G. Kowzan, D. Charczun, V. S. de Oliveira, A. Ruehl, I. Hartl, K. Minoshima, R. S. Trawinski, P. Maslowski
2 . 発表標題 Line Shape Study of the Second Overtone Band of CO Using Cavity-Enhanced Comb-Based Fourier-Transform Spectroscopy
3 . 学会等名 European Group Atomic Systems (EGAS) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 D. Charczun, G. Kowzan, A. Nishiyama, M. Debus, P. Huke, D. Tomaszewska, G. Sobon, A. Cygan, D. Lisak, R. S. Trawinski, P. Maslowski
2 . 発表標題 Hz-level Resolution Fourier Transform Spectrometry for Complex Refractive Index Spectroscopy
3 . 学会等名 European Group Atomic Systems (EGAS) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Zaborowski, F. Thibault, S. Wojtewicz, A. Cygan, G. Kowzan, P. Maslowski, M. Slowinski, A. Nishiyama, N. Stolarczyk, D. Lisak, R. Ciurylo, P. Wcislo
2 . 発表標題 High-accuracy deuterium spectroscopy and comparison with ab initio line-shape calculations
3 . 学会等名 European Group Atomic Systems (EGAS) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Akiko Nishiyama, Grzegorz Kowzan, Dominik Charczun, Vinicius Silva de Oliveira, Axel Ruehl, Ingmar Hartl, Kaoru Minoshima, Ryszard S. Trawinski, Piotr Maslowski
2 . 発表標題 Line Shape Measurements of CO Using Frequency Comb Based Cavity-Enhanced Absorption Spectroscopy
3 . 学会等名 Advanced Photonics 2018 Congress (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Dominik Charczun, Grzegorz Kowzan, Akiko Nishiyama, Michael Debus, Philipp Huke, Dorota Tomaszewska, Grzegorz Sobon, Agata Cygan, Daniel Lisak, Ryszard Trawinski, Piotr Maslowski
2 . 発表標題 Fourier-Transform Frequency Comb Cavity Mode Spectroscopy at Hz Level for Trace Gas Measurements
3 . 学会等名 Advanced Photonics 2018 Congress (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Dominik Charczun, Grzegorz Kowzan, Akiko Nishiyama, Agata Cygan, Daniel Lisak, Ryszard Trawinski, Piotr Maslowski
2 . 発表標題 FOURIER-TRANSFORM COMPLEX REFRACTIVE INDEX SPECTROSCOPY AT Hz-LEVEL WITH OPTICAL FREQUENCY COMBS
3 . 学会等名 73rd International Symposium of Molecular Spectroscopy 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Nishiyama, F. Thibault, M. Slowinski, M. Zaborowski, N. Slolarczyk, D. Charczun, A. Cygan, S. Wojtewicz, G. Kowzan, P. Maslowski, R. Ciurylo, D. Lisak, P. Wcislo
2 . 発表標題 Accurate Line Shape Measurement of D2-He and Comparison with ab initio Calculation
3 . 学会等名 International Conference on Spectral Line Shapes 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Nishiyama, G. Kowzan, D. Charczun, V. Oliveira, A. Ruehl, I. Hartl, K. Minoshima, R. Trawinski, P. Maslowski
2 . 発表標題 Application of Cavity-Enhanced Comb-Based Fourier-Transform Spectroscopy to Line Shape Study of Carbon Monoxide in Argon
3 . 学会等名 CLEO 2018 (Conference on Lasers and Electro-Optics) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Nishiyama, K. Nakagawa, H. Sasada, A. Onae, Y. Nakajima, K. Minoshima
2 . 発表標題 High-Sensitivity Doppler-Free Optical-Optical Double-Resonance Dual-Comb Spectroscopy
3 . 学会等名 CLEO 2018 (Conference on Lasers and Electro-Optics) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yoshiaki Nakajima, Akiko Nishiyama, Takuya Hariki, Kaoru Minoshima
2 . 発表標題 All-fiber-based mode-filtering technique with high side-mode suppression ratio and high multiplication factor
3 . 学会等名 CLEO 2018 (Conference on Lasers and Electro-Optics) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Nishiyama, G. Kowzan, D. Charczun, V. Oliveira, A. Ruehl, I. Hartl, K. Minoshima, R. Trawinski, P. Maslowski
2 . 発表標題 Application of Cavity-Enhanced Comb-Based Fourier-Transform Spectroscopy to Line Shape Study of Carbon Monoxide in Argon
3 . 学会等名 CLEO 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Nishiyama, K. Nakagawa, H. Sasada, A. Onae, Y. Nakajima, K. Minoshima
2. 発表標題 High-Sensitivity Doppler-Free Optical-Optical Double-Resonance Dual-Comb Spectroscopy
3. 学会等名 CLEO 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakajima, Akiko Nishiyama, Takuya Hariki, Kaoru Minoshima
2. 発表標題 All-fiber-based mode-filtering technique with high side-mode suppression ratio and high multiplication factor
3. 学会等名 CLEO 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西山明子, Grzegorz Kowzan, Dominik Charczun, Vinicius Silva de Oliveira, Axel Ruehl, Ingmar Hartl, 美濃島薫, Ryszard S. Trawinski, Piotr Maslowsk
2. 発表標題 光周波数コムを用いたキャビティーエンハンスドフーリエ変換分光によるCOの高感度分光計測
3. 学会等名 第18回分子分光研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西山明子, Grzegorz Kowzan, Dominik Charczun, Vinicius Silva de Oliveira, Axel Ruehl, Ingmar Hartl, 美濃島薫, Ryszard S. Trawinski, Piotr Maslowsk
2. 発表標題 光周波数コムを用いた高フィネス共振器分光によるCO-Ar気体の高感度分光計測
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中嶋 善晶, 秦 祐也, 梁木 琢也, 西山 明子, 稲場 肇, 美濃島 薫
2. 発表標題 高機能ファイバコム光源の開発
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第38回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梁木 琢也, 西山 明子, 中嶋 善晶, 美濃島 薫
2. 発表標題 光コムモードフィルタリングを用いた計測応用における残留サイドモードの影響
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中嶋 善晶, 西山 明子, 梁木 琢也, 美濃島 薫
2. 発表標題 全ファイバ型モードフィルタリング手法の高度化
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西山 明子, 中嶋 善晶, 中川 賢一, 佐々田 博之, 大苗 敦, 美濃島 薫
2. 発表標題 光-光二重共鳴デュアルコム分光における測定感度の向上
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中嶋 善晶, 西山 明子, 梁木 琢也, 美濃島 薫
2. 発表標題 全ファイバ型外部共振器によるファイバコムのモードフィルタリング手法の開発
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Nakajima, A. Nishiyama, S. Yoshida, T. Hariki, and K. Minoshima
2. 発表標題 Mode-filtering of Er-fiber-based optical frequency comb with a long-fiber-based ring cavity for repetition rate multiplication
3. 学会等名 ICO-24
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Nakajima, A. Nishiyama, S. Yoshida, T. Hariki, and K. Minoshima
2. 発表標題 Mode-filtering of a Fiber-based Optical Frequency Comb with Long-fiber-based Ring Resonator for Repetition Rate Multiplication
3. 学会等名 CLEO-PR 2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----