

令和元年6月11日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14124

研究課題名(和文)基礎技術開発による中赤外領域短パルスレーザーの発生

研究課題名(英文)Mid-infrared short-pulsed laser oscillation with development of basic technologies

研究代表者

松隈 啓 (Matsukuma, Hiraku)

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：90728370

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：波長2ミクロン～10ミクロン程度の中赤外線は分子の吸収ラインが多く存在すること、シリコンやゲルマニウム等半導体分野で重要な材料に対して透過するなど、科学・工学の両面において重要な波長帯域である。しかしながら、現状では、この領域のレーザーは非常に限られているのが現状である。本研究では、中赤外線のレーザーを開発するための基礎技術開発を行った。条件出しを丹念に行うことで本研究ではファイバーレーザーによるQスイッチパルス中赤外レーザー発生を確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した中赤外線レーザーシステムは例えば環境センシング(分子の種類や濃度を観測する)や可視光では観測できない金属材料や粗表面の計測に用いることができる。また開発したパルスレーザーは連続波レーザーに比べて高強度であるため、樹脂やガラス、金属、半導体に対して切断等の加工に用いることもできると考えられる。また、本研究をさらに発展させて、この領域での光周波数コム開発も可能である。

研究成果の概要(英文)：Mid-infrared region with a wavelength of 2 to 10 micrometer is important wavelength band in both science and engineering, such as the presence of many molecular absorption lines and transmission to important materials in the semiconductor field such as silicon and germanium. However, at present, lasers in this region are very limited at present. In this study, we developed basic technology to develop a mid-infrared laser. Q-switched mid-infrared laser generation by ring laser development has been achieved.

研究分野：光工学・量子科学

キーワード：レーザー 中赤外線 光技術

様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 , CK - 19 ( 共通 )

### 1 . 研究開始当初の背景

中赤外領域のレーザーは医療・環境計測の分野で有用であることが既に広く認識されている . また産業分野においても , 極端紫外 ( EUV ) ~ 軟 X 線を発生させるためのレーザープラズマ光源の駆動レーザーとして , またガラスや樹脂の加工等の分野での応用が期待される . 特に EUV ~ 軟 X 線を発生させるためのレーザープラズマ光源の駆動レーザーとしては EUV リソグラフィの高効率化を進める上で抜本的な解決策となる可能性が高い . 中赤外域の実用的光源の不在は , このような広範にわたる潜在的応用技術の発展の障壁となっている . 本研究ではこの現状を打開するための先進光源技術を提供する .

### 2 . 研究の目的

中赤外域の実用的光源の不在は , 医療・プラズマ生成・化学分析等 , 広範にわたる応用技術の発展の障壁となっている . 本研究ではこの現状を打開するための先進光源技術を提供する . 産業用途では , パルス幅の短いレーザーを供することで , 高い ( 瞬間的 ) 強度を持つ光を得ることができ , 有意義と考えられる . また , レーザー分光・分析等に供するには幅広い波長をもつレーザー光の実現が重要になる . サブピコ秒クラスの超短パルス光を実現し , 増幅器やスーパーコンティニューム等に応用することで上記のニーズに応えることが可能になる . そこで本研究の目的は , 中赤外領域の超短パルス光を出すこととした .

### 3 . 研究の方法

#### ( 1 ) レーザーの開発

非線形偏波回転型のキャビティで超短パルス光の実現を試みる . 中赤外領域を透過するフッ化物ファイバーを用いるとともに , ファイバーの加工方法 , ビームクオリティやファイバーに応じた集光状態の観測など , キャビティ中の基礎的な特性・最適化のために必要な条件等を明らかにする .

#### ( 2 ) 開発するレーザーの性能調査

レーザーパルス幅と発振スペクトル幅には相関があり , 不確定性関係から

$$\Delta\lambda > \frac{\lambda^2}{c\Delta t}$$

の関係がある . ここで  $\lambda$  ,  $\Delta\lambda$  ,  $\Delta t$  はそれぞれレーザー光の波長 , 発振スペクトル幅 , レーザーパルス時間幅である . そこで , 発振スペクトル幅を観測するための分光器が必要となる .

以上の理由から受光型時間波形測定器と分光器を開発する .

### 4 . 研究成果

#### ( 1 ) 2017 年度

##### レーザー発振

図 1 は開発したリングキャビティレーザーの概要と写真である . LD で励起されたエルビウム添加フッ化物ファイバーと 2 枚の鏡でリングキャビティを構成している . 非線形偏波回転コント

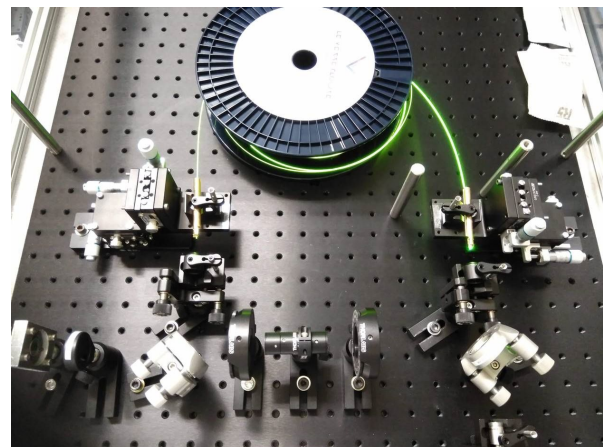
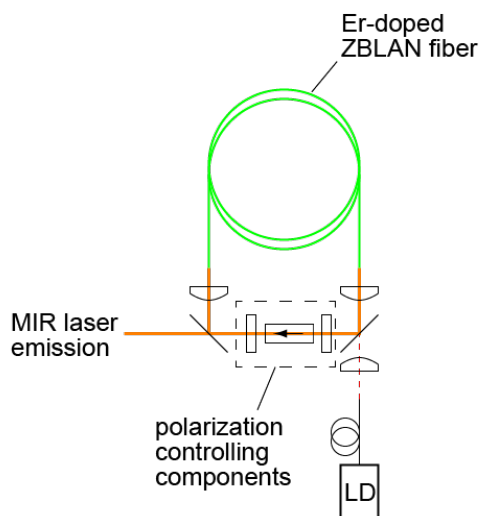


図 1 開発したレーザーの概要 ( 左 ) と写真 ( 右 )

ロールのために波長板およびアイソレータをキャビティ中に挿入している．このリング共振器ではQスイッチパルス発振は得られたものの，動作が不安定であった．図2はCW発振した際の中赤外光エネルギーの励起LD光パワー依存性を示している．

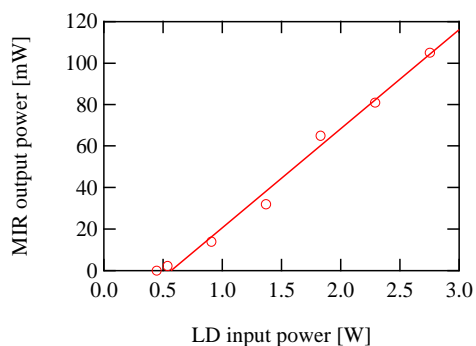


図2 中赤外パワーの励起LDパワー依存性

(2) 2018年度  
分光器の開発

図3は本研究で開発した分光器の概要と写真である．Czerny-Turner型分光器とし，リアルタイムで観測できるように，イメージセンサーを使用した．中赤外レーザーがCW発振している際のスペクトルを観測した様子を示したのが図4である．

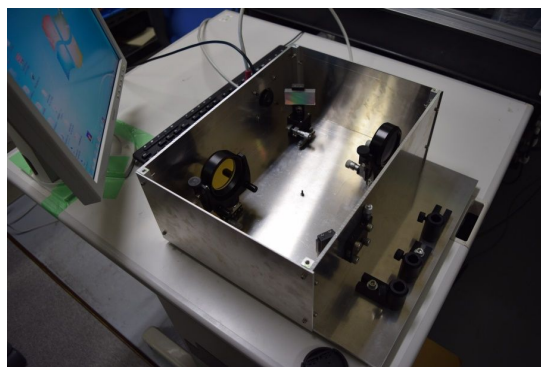
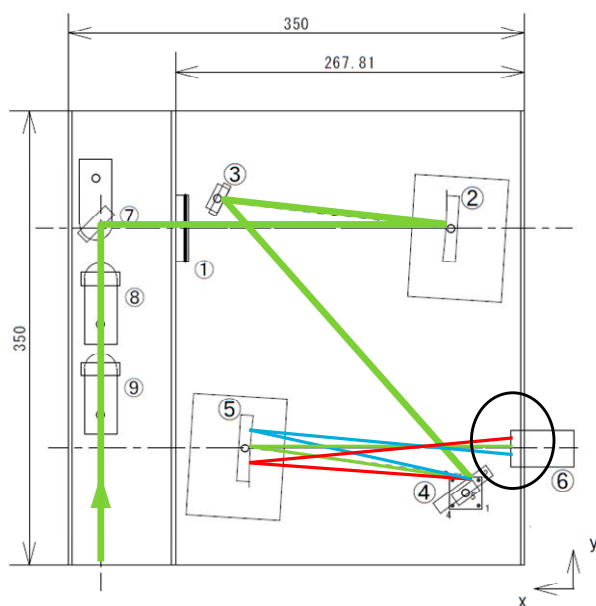


図3 開発した分光器の概要(上)と写真(下)

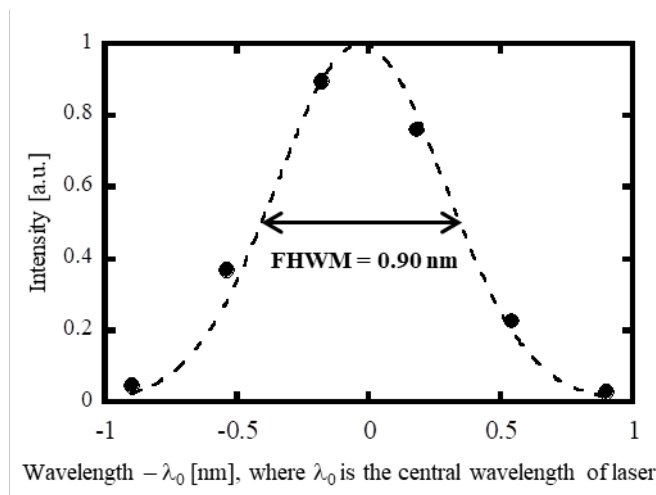


図4 CW発振している際のレーザー光の観測．

これまで得られているQスイッチ発振の安定化のために，レーザー可飽和吸収体を用いた．レーザーの概要を図5に示す．さらにファイバー入射部における中赤外光スポット径を観測し，ファイバー入射の最適化を行った．

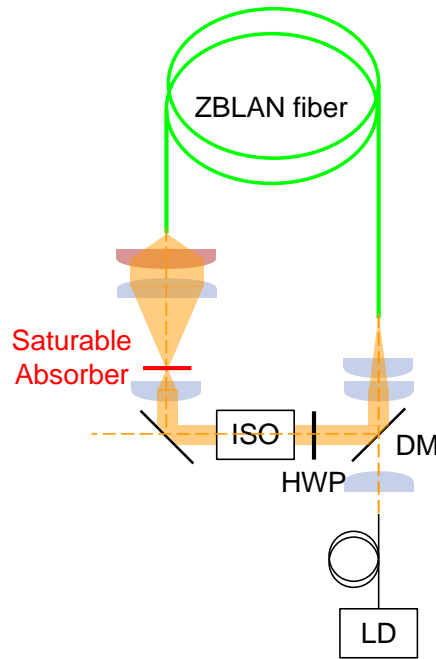


図5 可飽和吸収体を組み込んだ光共振器

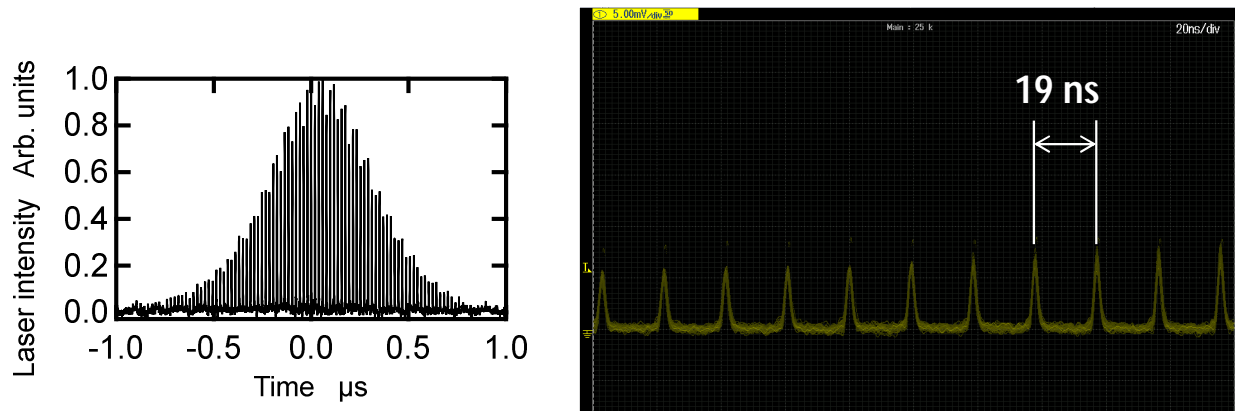


図6 レーザー発振の時間波形（左）全域2マイクロ秒（右）全域200ナノ秒

図6にレーザー発振の時間波形を示す．パルス発振が確認できた．  
 今後はモードロックの安定化が課題である．

## 5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

(1)  
 Nathaniel Bawden, Hiraku Matsukuma, Ori Henderson-Sapir, Elizaveta Klantsataya, Shigeki Tokita, David J. Ottaway  
 Q-switched dual-wavelength pumped 3.5- $\mu\text{m}$  erbium-doped mid-Infrared fiber laser  
 Proc. SPIE 10512, Fiber Lasers XV: Technology and Systems, 10512 (2018)  
 DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2288081>  
 査読無

(2)  
 J. D. Colvin, H. Matsukuma, K. C. Brown, J. F. Davis, G. E. Kemp, K. Koga, N. Tanaka, A. Yogo, Z. Zhang, H. Nishimura, and K. B. Fournier  
 Physics of Plasmas, 25, 32702 (2018)  
 DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5012523>  
 査読有

(3)

Kenji Goya, Hiraku Matsukuma, Hiyori Uehara, Satoshi Hattori, Christian Schoefer, Daisuke Konishi, Masanao Murakami, and Shigeki Tokita

Plane-by-plane femtosecond laser inscription of first-order fiber Bragg gratings in fluoride glass fiber for in situ monitoring of lasing evolution

Optics Express 26, 33305 (2018)

DOI: <https://doi.org/10.1364/OE.26.033305>

査読有

(4)

Nathaniel Bawden, Hiraku Matsukuma, Ori Henderson-Sapir, Elizaveta Klantsataya, Shigeki Tokita, and David J. Ottaway

Actively Q-switched dual-wavelength pumped Er<sup>3+</sup>:ZBLAN fiber laser at 3.47 μm

Optics Letters 43, 2724 (2018)

DOI: <https://doi.org/10.1364/OL.43.002724>

査読有

〔学会発表〕(計2件)

(1)

Yun Asumi, Hiraku Matsukuma, Yuki Shimizu, Wei Gao

An optical frequency comb operating in the mid-infrared region for wide-range and high-precision optical sensor

IEEE 2018 International conference on advanced manufacturing (ICAM2018) (国際学会)

2018年

(2)

Hiraku Matsukuma, Yoshiaki Kakimoto, Shigeki Tokita, Yuki Shimizu, Wei Gao

Mid-infrared ultrashort pulse laser for precision metrology

6th International Conference on Nanomanufacturing (国際学会)

2018年

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号(8桁):

(2)研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。