

広帯域相関計測解析研究部門

藤 貴 夫（准教授）（2010 年 2 月 1 日着任）

A-1) 専門領域：量子エレクトロニクス，レーザー物理，非線形光学，超高速分光

A-2) 研究課題：超短光パルスの研究

- a) 超短光パルスの超広帯域波長変換技術を使った分光法の開発
- b) 超短光パルスの位相制御，評価の研究
- c) 赤外ファイバーレーザーの開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 本研究室において，2 から 20 μm までの波長領域で位相の揃ったコヒーレントな赤外光パルスを発生する技術と，そのスペクトルを単一ショット（1 ms）で計測できる方法を開発した。この波長領域の光は，多くの分子振動単位と共鳴しており，非破壊で分子のダイナミクスを研究するのに適している。今年度の成果としては，この手法を赤外イメージングに応用することを行った。
- b) 前年度は，Si 薄膜にサブサイクル中赤外光パルスを集光して，高次高調波が発生することを示したが，本年度は，Si 薄膜を非線形媒質として，サブサイクル中赤外光パルスの評価が行えることを示した。800 nm の参照光（ ω_1 ）とサブサイクル中赤外光パルス（ ω_0 ）を Si 薄膜上で重ね合わせると，400–500 nm 付近に信号（ ω_2 ）が得られ，それが四光波混合の信号（ $\omega_1 + \omega_1 - \omega_0 \rightarrow \omega_2$ ）に対応していることを示した。この信号をもとに，サブサイクル中赤外光パルスのパルス幅を求めることができる。
- c) 以前，チャープパルス増幅を基本としたツリウム添加 ZBLAN ファイバー増幅器によって，2 μm の波長で出力が 4 W 程度，時間幅が 150 fs のパルスが得られていたが，それをさらに増幅する再生増幅器の開発を行った。最終的には 1.4 mJ のパルスエネルギーをもった 360 fs のパルスを発生させることができた。このレーザーはさらに長い赤外パルスを発生させる光源として有用と考えられる。また，前年度に開発した 50 fs のパルスを発生するファイバー増幅器の出力を光源として，3 光子顕微鏡の開発を行った。1800 nm の励起光パルスを光源とした顕微鏡を構築し，試料に照射したところ，650 nm 程度の蛍光が得られ，3 光子励起による蛍光の信号が得られた。

B-1) 学術論文

H. SHIRAI, F. KUMAKI, Y. NOMURA and T. FUJI, “High-Harmonic Generation in Solids Driven by Sub-Cycle Mid-Infrared Pulses from Two-Color Filamentation,” *Opt. Lett.* **43**, 2094–2097 (2018).

S. A. REZVANI, M. SUZUKI, P. MALEVICH, C. LIVACHE, J. V. DE MONGOLFIER, Y. NOMURA, N. TSURUMACHI, A. BALTUŠKA and T. FUJI, “Millijoule Femtosecond Pulses at 1937 nm from a Diode-Pumped Ring Cavity Tm:YAP Regenerative Amplifier,” *Opt. Express* **26**, 29460–29470 (2018).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

Y. NOMURA and T. FUJI, “Ultrafast Thulium-Doped Fiber Amplifier for Multiphoton Microscopy,” *The 7th Advanced Lasers and Photon Sources*, ALPS13-D2-3 (2018).

S. A. REZVANI, M. SUZUKI, P. MALEVICH, C. LIVACHE, J.-V. DE MONTGOLFIER, Y. NOMURA, N. TSURUMACHI, A. BALTUSKA and T. FUJI, “2 Gigawatt Peak Power Source Centered at 1940 nm from a Diode-Pumped Ring Cavity Tm:YAP Regenerative Amplifier,” *JSAP-OSA Joint Symposia 2018*, 21a-221B-5 (2018).

S. A. REZVANI, M. SUZUKI, P. MALEVICH, C. LIVACHE, J.-V. DE MONTGOLFIER, Y. NOMURA, N. TSURUMACHI, A. BALTUSKA and T. FUJI, “Gigawatt Peak Power Centered at 1940 nm from a Diode-Pumped Ring Cavity Tm:YAP Regenerative Amplifier,” *Advanced Solid State Lasers*, AM5A.5 (2018).

H. SHIRAI, F. KUMAKI, Y. NOMURA and T. FUJI, “High-Harmonic Generation in Solids Driven by Sub-Cycle Mid-Infrared Pulses from Laser Filamentation,” *XXI International Conference on Ultrafast Phenomena*, THU.PO.33 (2018).

H. SHIRAI, F. KUMAKI, Y. NOMURA and T. FUJI, “High-Harmonic Generation from Crystalline Silicon Driven by Sub-Cycle Mid-Infrared Pulses,” *CLEO:QELS Fundamental Science*, FF2P.2 (2018).

B-4) 招待講演

Y. NOMURA, “Development of an ultrafast 2 μm laser system for multiphoton microscopy,” Interhierarchical understanding of materials and life through molecular observation, Okazaki (Japan), March 2018.

Y. NOMURA and T. FUJI, “Femtosecond light source at 2 μm based on thulium-doped ZBLAN fiber,” 11th Asia Pacific Laser Symposium, Sheraton Xi'an North City Hotel, Xi'an (China), May 2018.

T. FUJI, “Complete waveform characterization of mid-infrared ultrashort pulses,” 2nd URSI Atlantic Radio Science Meeting (AT-RASC), Gran Canaria (Spain), May 2018.

T. FUJI, “High harmonic generation in Si driven by sub-cycle mid-infrared source based on twocolor laser filamentation,” COFIL2018, Geneva (Switzerland), June 2018.

藤 貴夫, 「究極の光を作る」, 市民公開講座第 116 回分子科学フォーラム, 岡崎コンファレンスセンター, 岡崎, 2018 年 3 月.

T. FUJI, “Development and application of sub-cycle mid-infrared source based on two-color filamentation,” JSAP-OSA Joint Symposia 2018, Nagoya (Japan), September 2018.

野村雄高, 藤 貴夫, 「ツリウム添加 ZBLAN ファイバーによる 2 μm 帯フェムト秒レーザーシステム」, レーザー学会第 525 回研究会「ファイバレーザー技術」, 名古屋大学, 名古屋, 2018 年 11 月.

B-6) 受賞, 表彰

藤 貴夫, 日本光学会奨励賞 (1999).

藤 貴夫, 大阪大学近藤賞 (2008).

藤 貴夫, 野村雄高, 白井英登, レーザー学会業績賞 (進歩賞) (2015).

野村雄高, 自然科学研究機構若手研究者賞 (2016).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

レーザー学会「ファイバレーザー技術」専門委員会委員 (2015–2017). (野村雄高)

電子情報通信学会超高速光エレクトロニクス時限研究専門委員会第 4 部会副査 (2017–).

電子情報通信学会超高速光エレクトロニクス時限研究専門委員会第 2 部会副査 (2017–). (野村雄高)

レーザー学会「ファイバーレーザー技術」専門委員会幹事 (2018-).

学会の組織委員等

CLEO/Europe 2007国際会議プログラム委員 (2007).

化学反応討論会実行委員 (2009).

CLEO/Pacific Rim 2009国際会議プログラム委員 (2009).

HILAS 国際会議プログラム委員 (2011).

CLEO/Europe 2011国際会議プログラム委員 (2011).

HILAS 国際会議プログラム委員 (2012).

CLEO/Europe2013国際会議プログラム委員 (2013).

CLEO/Pacific Rim 2013国際会議プログラム委員 (2013).

HILAS 国際会議プログラム委員 (2014).

CLEO/USA2014国際会議プログラム委員 (2014).

CLEO/USA2015国際会議分科プログラム委員長 (2015-2016).

CLEO/Europe2015国際会議プログラム委員 (2015).

レーザー学会学術講演会第 35 回年次大会プログラム委員 (2014-2015).

レーザー学会学術講演会第 38 回年次大会プログラム委員 (2017-2018). (野村雄高)

ICO24 国際会議プログラム委員 (2017).

Ultrafast Optics 2017 国際会議プログラム委員 (2017).

CLEO/USA2018 座長 (2018).

Advanced Solid State Lasers: Sources プログラム委員 (2018-). (野村雄高)

レーザー学会学術講演会第 39 回年次大会プログラム委員 (2018-).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

文部科学省科学技術・学術審議会量子科学技術委員会・超短パルスレーザーに係るロードマップ検討グループ専門有識者 (2017-2018).

B-8) 大学での講義, 客員

Vienna University of Technology (Vienna), “Development and application of sub-cycle MIR source generated through filamentation,” March 6th, 2018.

総合研究大学院大学物理科学研究科, 「光物理」, 2018 年 7 月 1 日-9 月 30 日.

総合研究大学院大学物理科学研究科, テーマ型レクチャー「先端レーザー基礎演習」, 2018 年 9 月 11 日-13 日.

National Chiao Tung University (Hsingchu), “Sub-cycle mid-infrared source based on laser filamentation,” October 4th, 2018.

B-10) 競争的資金

科研費若手研究(A), 「光電子イメージング分光のための 10 フェムト秒深紫外光パルス発生」, 藤 貴夫 (2007 年-2008 年).

自然科学研究機構若手研究者による分野間連携研究プロジェクト, 「プラズマを使ったフェムト秒中赤外光パルス発生の研究」, 藤 貴夫 (2010 年-2011 年).

科研費基盤研究(B), 「超広帯域コヒーレント中赤外光を用いた新しい分光法の開拓」, 藤 貴夫 (2012 年-2014 年).

自然科学研究機構若手研究者による分野間連携研究プロジェクト,「超短中赤外パルスを用いた生細胞内分子の無染色ライブイメージング法の開発」, 藤 貴夫 (2012年).

科学技術振興事業団先端計測分析技術・機器開発プログラム要素技術タイプ,「超広帯域コヒーレント赤外分光技術の開発」, 藤 貴夫 (2012年–2015年).

科研費挑戦的萌芽研究,「自己参照による光電場の直接測定」, 藤 貴夫 (2014年–2016年).

科研費特別研究員奨励費,「高次高調波発生による高繰り返し極端紫外光源の開発およびその応用」, 野村雄高 (2010年).

豊秋奨学会海外渡航旅費助成,「153 nm におけるコヒーレントな高繰り返し準連続光源」, 野村雄高 (2011年).

光科学技術研究振興財団研究助成,「トリウム添加ファイバーによるフェムト秒レーザーの開発」, 野村雄高 (2012年–2013年).

科研費若手研究(B),「中赤外領域における高繰り返しフェムト秒パルス光源の開発」, 野村雄高 (2013年–2014年).

光科学技術研究振興財団研究助成,「自己参照による光電場波形の直接計測」, 藤 貴夫 (2015年–2016年).

科研費若手研究(B),「単一サイクル赤外光パルスを用いた高速赤外吸収分光」, 白井英登 (2015年–2016年).

自然科学研究機構若手研究者による分野間連携プロジェクト,「新規赤外フェムト秒レーザーによる超深部シナプス内分子活性化イメージング」, 藤 貴夫 (2015年–2017年).

天田財団一般研究開発助成,「高出力 2 μ m 超短パルスレーザー光源の開発」, 野村雄高 (2015年–2017年).

科学技術振興機構さきがけ研究「生命機能メカニズム解明のための光操作技術」領域,「長波長レーザーによる超深部顕微分光システムの開発」, 野村雄高 (2016年–2019年).

科研費基盤研究(B),「光電場波形計測法の開発と新しい非線形光学の開拓」, 藤 貴夫 (2017年–2020年).

科学技術振興機構CREST 研究,「超短赤外パルス光源を用いた顕微イメージング装置の開発と生命科学への応用」, 藤 貴夫 (2017年–2023年).

C) 研究活動の課題と展望

ファイブレーションを用いた波長変換は、気体を媒質としながらも、高効率な超短光パルスの波長変換法として有効である。この光源を使った新規分光法が評価され、CREST のプロジェクトに採択された。この手法をさらに発展させて、分子科学のみならず、生物、医療など異分野へ応用していくことを考えている。また、本研究室で独自に開発した新しい光電場波形計測法を、固体結晶を用いて可能であることを示した。このことより、比較的、強度の低いパルスについても、パルス評価が行えることを示した。ファイバーレーザーの開発では、本研究室で開発された光源を実際に3光子顕微鏡に応用できることを示した。また、ファイバーレーザー出力を、固体レーザーを基本とした増幅システムで増幅し、高強度パルスを得ることができた。今後、高強度赤外光パルス発生や、多光子顕微鏡など、様々な分野へ応用することを考えている。