

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) 超短光パルスを発生できるレーザーの波長は限られている。それを様々な波長へ効率よく，パルス幅が短い状態で波長変換する技術は，超短光パルスの応用範囲を広げる上で，非常に重要である。この研究では，固体結晶と比べて透過領域が桁違いに広い気体を波長変換媒質として使用することで，様々な波長の超短光パルスを発生させることを目標としている。今年度の成果としては，前年度開発した高速赤外スペクトル分光法をフェムト秒ポンプ・プローブ分光法に応用したことである。この装置によって，半導体におけるキャリアのダイナミクスを，赤外吸収スペクトルの変化によって観測することができた。2  $\mu\text{m}$  から 20  $\mu\text{m}$  までの波長領域でキャリアのスペクトルを計測したのは，世界ではじめてのことである。
- b) 前年度開発した超短光パルスの光電場波形を直接計測する手法によって，四光波混合過程における入射光と信号光との位相スペクトルの関係について，新しい知見を得ることができた。非常に広帯域な信号光が発生される場合，差周波混合と光整流過程が同時に起こり，それぞれの過程で発生する信号光の位相が異なるため，位相スペクトルに特徴的な構造が現れることを明らかにした。このことは，信号光のパルス幅にも影響を与えるので，単一サイクルパルスを発生させることに，非常に重要となる知見である。
- c) 一般的に，波長変換において，変換元と変換先との波長がなるべく近いほうが，変換効率の向上が見込まれる。2–20  $\mu\text{m}$  の赤外光パルス発生を目的として，チタンサファイアレーザーよりも長波長の超短光パルスを発生するファイバーレーザーの開発を行った。前年度に製作したツリウム添加フッ化物ファイバーレーザーを改良し，41 fs で 1.9  $\mu\text{m}$  を中心波長としたパルスを連続的に発生させる発振器を製作することができた。また，以前，励起光源は単一モードのレーザーを用いていたが，多モードのレーザーを励起光源として使えることを示した。多モードのレーザーは，単一モードのレーザーよりもはるかに安いので，今後の製品化を進めるときに，非常に重要となる。

B-1) 学術論文

**Y. NOMURA, Y.-T. WANG, A. YABUSHITA, C.-W. LUO and T. FUJI**, “Controlling the Carrier-Envelope Phase of Single-Cycle Mid-Infrared Pulses with Two-Color Filamentation,” *Opt. Lett.* **40**, 423–426 (2015).

**Y. NOMURA, M. NISHIO, S. KAWATO and T. FUJI**, “Development of Ultrafast Laser Oscillators Based on Thulium-Doped ZBLAN Fibers,” *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **21**, 0900107 (7 pages) (2015).

**H. SHIRAI, T.-T. YEH, Y. NOMURA, C.-W. LUO and T. FUJI**, “Ultrabroadband Mid-Infrared Pump–Probe Spectroscopy Using Chirped-Pulse Up-Conversion in Gases,” *Phys. Rev. Appl.* **3**, 051002 (5 pages) (2015).

**T. FUJI, H. SHIRAI and Y. NOMURA**, “Ultrabroadband Mid-Infrared Spectroscopy with Four-Wave Difference Frequency Generation,” *J. Opt.* **17**, 094004 (2015).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

**T. FUJI, H. SHIRAI, C. DUCHESNE and Y. FURUTANI**, “Attenuated total reflectance infrared spectroscopy with chirped-pulse upconversion,” *CLEO2015: Science&Innovations*, STu4N.6 (2015).

**H. SHIRAI, T.-T. YEH, Y. NOMURA, C.-W. LUO and T. FUJI**, “Ultrabroadband mid-infrared pump-probe spectroscopy using chirped-pulse upconversion,” *CLEO2015: Science&Innovations*, STh1H.2 (2015).

**T. FUJI, H. SHIRAI, C. DUCHESNE and Y. FURUTANI**, “Single-shot attenuated total reflectance infrared spectroscopy with chirped-pulse upconversion,” *CLEO/Europe2015*, CF-P.30 (2015).

B-3) 総説，著書

**T. FUJI, Y. NOMURA and H. SHIRAI**, “Generation and characterization of phase-stable sub-single-cycle pulses at 3000  $\text{cm}^{-1}$ ,” *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **21**, 8700612 (12 pages) (2015).

藤 貴夫, 野村雄高, 白井英登, 「7 フェムト秒中赤外光パルスの発生と分光計測応用」*光学* **44**, 68–73 (2015).

藤 貴夫, 野村雄高, 「四光波差周波混合により発生する単一サイクルパルスのキャリア・エンベロープ位相」*レーザー研究* **43**, 512–516 (2015).

B-4) 招待講演

野村雄高, 藤 貴夫, 「電場波形を測定可能な周波数分解光ゲート法」*レーザー学会学術講演会第35回年次大会*, 東京都港区, 2015年1月.

藤 貴夫, 「超広帯域赤外光パルス発生と位相制御」*第6回超高速光エレクトロニクス研究会*, 柏, 2015年1月.

藤 貴夫, 「超短パルス発生・制御からみた分極反転デバイスへの期待」*第62回応用物理学会春季学術講演会*, 平塚, 2015年3月.

**T. FUJI, H. SHIRAI and Y. NOMURA**, “Generation and application of phase-stable sub-cycle mid-infrared pulses,” *PhotonicsNorth2015*, HIGHPOWER-10-16-5, Ottawa (Canada), June 2015.

**T. FUJI and Y. NOMURA**, “Carrier-envelope phase of single-cycle pulses generated through filamentation,” *Ultrafast Optics 2015*, no. 45, Beijing (China), August 2015.

**T. FUJI**, “Waveform characterization of ultrashort pulses,” *OPTIC2015*, 2015-FRI-S0302-o001, Hsinchu (Taiwan), December 2015.

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).

## B-7) 学会および社会的活動

### 学会の組織委員等

CLEO/Europe 2005 座長 (2005).  
CLEO/USA 2005 座長 (2005).  
CLEO/Europe 2007 国際会議プログラム委員, 座長 (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, 座長 (2009).  
CLEO/Europe 2009 座長 (2009).  
ICONO 2010 座長 (2010).  
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, 座長 (2012).  
COFIL 2012 座長 (2012).  
CLEO/USA2013 座長 (2013).  
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, 座長 (2013).  
HILAS 国際会議プログラム委員, 座長 (2014).  
CLEO/USA2014 国際会議プログラム委員, 座長 (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会委員 (2014–2015).  
CLEO/USA2015 座長 (2015).  
CLEO/Europe2015 座長 (2015).  
レーザー学会「ファイバーレーザー技術」専門委員会委員 (2015–). (野村雄高)

## B-8) 大学での講義, 客員

ウィーン工科大学, 博士論文審査員 (Tadas Balciunas) 2015年7月27日.  
福井大学大学院工学研究科, 電気・電子工学特別講義, 2015年7月30日–31日.

## B-10) 競争的資金

(独)理化学研究所研究奨励ファンド, 「搬送波包絡線周波数の安定した超短赤外光パルス発生」藤 貴夫 (2006年).  
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,「ツ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 $\mu$ m 超短パルスレーザー光源の開発」,野村雄高 (2015年–2017年).

#### C) 研究活動の課題と展望

フィラメンテ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り,分子研において,この手法による超広帯域コヒーレント赤外光発生を実証してきた。さらに,この光源を使用して,分光を行うことにも成功した。今後も,これらの光源や分光法の特徴をいかし,分子科学の発展や,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用いて,非線形光学における新規の現象を観測することができた。今後も,光電場波形に敏感な現象を本手法で観測し,新しい光科学の知見を得ることに期待している。ファイバーレーザーの開発では,1.8  $\mu$ m を中心波長とした 41 fs のパルスを発振器から直接発生させることに成功した。現在,増幅器の開発を進め,様々な分野へ応用することを考えている。