

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) 超広帯域光源による超高速分光

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，パルス幅を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，真空紫外から赤外光までの超短光パルスを同時に発生させることを目標としている。気体は非線形係数が小さいため，一般的に効率は低いが，超短光パルスのフィラメンテーションという現象を使うことで，効率のよい波長変換が行える。フィラメンテーションとは，高強度の超短光パルスをゆるやかに気体に集光することで，非線形効果による屈折率の増加とプラズマ発生による屈折率の減少が釣り合い，レイリー長よりはるかに長い距離をビームが集光されたまま伝搬する現象である。この効果によって，極めて高い強度で長い相互作用長の波長変換を行うことができ，気体としては非常に高い効率で波長変換を行うことができる。この手法は，藤准教授が前職の理研において発展させた研究である。今年の成果としては，チタンサファイアレーザーの二倍波（400 nm）と，近赤外の光パラメトリック増幅の出力（1300 nm）とを気体中（ネオン）に集光し，237 nmと167 nmの超短光パルスを発生させることに成功した。この実験は，前職の理化学研究所で行われた。分子研では，その手法を赤外光（3-20 μm ）パルス発生に適応させることをめざし，準備を進めている。
- b) 前述の研究によって発生した紫外光（237 nm）パルスの位相を制御し，パルス幅を最適化する研究を行った。パルス整形技術は近年，可視光から赤外領域で大きく発展しており，様々な形のパルスを作ることができるようになってきているが，紫外領域は固体結晶の透過領域，損傷などが問題で，技術的に大きな困難がある。この研究では，波長変換前の近赤外光の位相を制御することによって，波長変換後の紫外光パルスの位相を制御することを行った。紫外光パルスは，基本的には差周波混合過程によって発生しているため，近赤外光と位相の時間変化が逆方向に転写される。近赤外光，紫外光の位相は，それぞれ，周波数分解光ゲート法（FROG）によって，測定し，近赤外光の位相が転写される様子を観測した。この実験も，前職の理化学研究所で行われた研究であり，分子研では，その手法を，赤外領域（3-20 μm ）の発生に応用することを考えている。
- c) 前述と同等の手法で発生した紫外光パルス（200，260 nm）を使って，超高速光電子イメージング分光を気相の分子について行った。ピラジン（ $\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2$ ）やフラン（ $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}$ ）の分子について，寿命が20 fs程度で減衰する超高速過程を明瞭に観測した。それぞれの実験結果について，分子動力学をつかった理論計算結果と比較し，それぞれの分子における超高速ダイナミクスについて，理解を深めることとなった。この研究も，前職の理化学研究所で行われた研究であり，分子研では，赤外光パルス（3-20 μm ）を使った二次元分光を行うことを予定している。

B-1) 学術論文

P. DOMBI, S. E. IRVINE, P. RÁCZ, M. LENNER, N. KROÓ, G. FARKAS, A. MITROFANOV, A. BALTUŠKA, T. FUJI, F. KRAUSZ and A. Y. ELEZZABI, “Observation of Few-Cycle, Strong-Field Phenomena in Surface Plasmon Fields,” *Opt. Express* **18**, 24206–24212 (2010).

P. ZUO, T. FUJI and T. SUZUKI, “Spectral Phase Transfer to Ultrashort UV Pulses through Four-Wave Mixing,” *Opt. Express* **18**, 16183–16192 (2010).

Y.-I. SUZUKI, T. FUJI, T. HORIO and T. SUZUKI, “Time-Resolved Photoelectron Imaging of Ultrafast $S_2 \rightarrow S_1$ Internal Conversion through Conical Intersection in Pyrazine,” *J. Chem. Phys.* **132**, 174302 (8 pages) (2010).

S. Y. LIU, Y. OGI, T. FUJI, K. NISHIZAWA, T. HORIO, T. MIZUNO, H. KOHGUCHI, M. NAGASONO, T. TOGASHI, K. TONO, M. YABASHI, Y. SENBA, H. OHASHI, H. KIMURA, T. ISHIKAWA and T. SUZUKI, “Time-Resolved Photoelectron Imaging Using a Femtosecond UV Laser and a VUV Free-Electron Laser,” *Phys. Rev. A* **81**, 031403 (4 pages) (2010).

T. FUJI, Y.-I. SUZUKI, T. HORIO, T. SUZUKI, R. MITRIĆ, U. WERNER and V. BONAČIĆ-KOUTECKY, “Ultrafast Photodynamics of Furan,” *J. Chem. Phys.* **133**, 234303 (9 pages) (2010).

N. KUSE, Y. NOMURA, A. OZAWA, M. KUWATA-GONOKAMI, S. WATANABE and Y. KOBAYASHI, “Self-Compensation of Third-Order Dispersion for Ultrashort Pulse Generation Demonstrated in an Yb Fiber Oscillator,” *Opt. Lett.* **35**, 3868–3870 (2010).

P. HEISLER, R. HÖRLEIN, M. STAFE, J. M. MIKHAILOVA, Y. NOMURA, D. HERRMANN, R. TAUTZ, S. G. RYKOVANOV, I. B. FÖLDES, K. VARJÚ, F. TAVELLA, A. MARCINKEVICIUS, F. KRAUSZ, L. VEISZ and G. D. TSAKIRIS, “Toward Single Attosecond Pulses Using Harmonic Emission from Solid-Density Plasmas,” *Appl. Phys. B* **101**, 511–521 (2010).

R. HÖRLEIN, Y. NOMURA, P. TZALLAS, S. G. RYKOVANOV, B. DROMEY, J. OSTERHOFF, ZS. MAJOR, S. KARSCH, L. VEISZ, M. ZEPF, D. CHARALAMBIDIS, F. KRAUSZ and G. D. TSAKIRIS, “Temporal Characterization of Attosecond Pulses Emitted from Solid-Density Plasmas,” *New J. Phys.* **12**, 043020 (2010).

S. ADACHI, N. ISHII, Y. NOMURA, Y. KOBAYASHI, J. ITATANI, T. KANAI and S. WATANABE, “1.2 mJ Sub-4-fs Source at 1 kHz from an Ionizing Gas,” *Opt. Lett.* **35**, 980–982 (2010).

S. ADACHI, N. ISHII, Y. KOBAYASHI, Y. NOMURA, J. ITATANI, T. KANAI and S. WATANABE, “Carrier-Envelope Phase Control of Few-Cycle Parametric Chirped-Pulse Amplifier,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **49**, 032703 (4 pages) (2010).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

T. FUJI, Y.-I. SUZUKI, T. HORIO and T. SUZUKI, “Time-Energy Map of Photoelectron Angular Anisotropy for Investigation of Ultrafast Internal Conversion,” *Ultrafast Phenomena 2010* ThB6 (2010).

T. FUJI, P. ZUO and T. SUZUKI, “Ultrashort UV Pulse Generation by Four-Wave Mixing through Filamentation,” *ICONO/LAT 2010* ITu1 (2010). (invited)

S. Y. LIU, Y. OGI, T. FUJI, K. NISHIZAWA, T. HORIO, T. MIZUNO, H. KOHGUCHI, M. NAGASONO, T. TOGASHI, K. TONO, M. YABASHI, Y. SENBA, H. OHASHI, H. KIMURA, T. ISHIWAKA and T. SUZUKI, “Time-Resolved Photoelectron Imaging Using a Femtosecond UV Laser and a VUV Free-Electron Laser,” *VUVX2010* 6PL3 (2010).

Y. OGI, S. Y. LIU, T. FUJI, K. NISHIZAWA, T. HORIO, T. MIZUNO, H. KOHGUCHI, M. NAGASONO, T. TOGASHI, K. TONO, M. YABASHI, Y. SENBA, H. OHASHI, H. KIMURA, T. ISHIWAKA and T. SUZUKI, “Time-Resolved Photoelectron Imaging on Pyrazine Using a Femtosecond UV Laser and a VUV Free-Electron Laser,” *Pacificchem 2010* ID#1569 (2010).

J. M. MIKHAILOVA, P. HEISSLER, R. HOERLEIN, M. STAFE, Y. NOMURA, D. HERRMANN, R. TAUTZ, S. RYKOVANOV, I. FOELDES, K. VARJU, F. TAVELLA, A. MARCINKEVICIUS, F. KRAUSZ, M. ZEPF, L. VEISZ and G. D. TSAKIRIS, “Broadband Relativistic High-Harmonic Generation Using Few-Cycle Multiterawatt Light Pulses,” *Frontiers in Optics 2010, Laser Science XXVI* (2010).

N. KUSE, M. KUWATA-GONOKAMI, Y. NOMURA, S. WATANABE and Y. KOBAYASHI, “Experimental Study of Pulse Evolution in a 30-fs Mode-Locked Yb-Fiber Oscillator,” *Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science* (2010).

Y. KOBAYASHI, Y. NOMURA and S. WATANABE, “1.3-GHz, 20-W, Femtosecond Chirped-Pulse Amplifier System,” *Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science* (2010).

B-4) 招待講演

藤 貴夫, 「15 フェムト秒紫外光パルスを用いた光電子イメージング分光」静岡大学光学部プロジェクト第三回研究会 光と電子の変換の科学, 浜松, 2010年3月.

T. FUJI, P. ZUO and T. SUZUKI, “Ultrashort UV pulse generation by four-wave mixing through filamentation,” *ICONO/LAT 2010, Kazan (Russia)*, August 2010.

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).

B-7) 学会および社会的活動

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).

HIRAS 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).

B-8) 大学での講義, 客員

(独) 理化学研究所, 客員研究員, 2010年2月-.

総合研究大学院大学物理科学研究科, 「光物理」2010年前期.

B-10) 競争的資金

科研費奨励研究(A),「サブ5フェムト秒パルスによる位相敏感超高速分光」藤 貴夫 (2000年-2001年).

(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).

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).

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り、これまで、近赤外光のチタンサファイアレーザーの出力を真空紫外や赤外への波長変換を実験的に示してきた。今後、これらの波長の光を同時に発生させ、それらを使ったユニークな分光を行うことを目指している。当面の目標としては、3-20 μm にわたる広帯域な赤外光を発生させることを挙げているが、そのような広帯域において位相を揃えて重ね合わせ、分光で利用できる光パルスとするには、様々なハードルがある。まず、スペクトルの測定装置について、市販の分光器では、帯域や、光パルスのデータ取得法において、問題が多いので、現在、真空中で動作するフーリエ赤外分光装置を自作している。チタンサファイアレーザーが2011年2月に導入される予定であり、それを使って本格的な実験をスタートする。また、チタンサファイアレーザーだけでなく、高繰り返し周波数が可能なファイバーレーザーを独自の手法で開発することも視野に入れている。分光では、高繰り返し周波数がデータ取得において極めて重要であり、新しい光源を開発する価値は非常に高いと考えている。