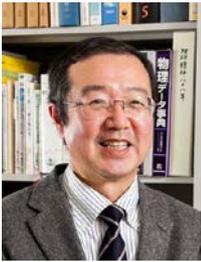


## 【基盤研究(S)】

理工系（総理工）



### 研究課題名 単一アト秒パルスの高出力化によるアト秒電子ダイナミクス計測の確立

理化学研究所・緑川レーザー物理工学研究室・主任研究員

みどりかわ かつみ  
緑川 克美

研究課題番号：26220606 研究者番号：40166070

研究分野：応用物理学、量子科学

キーワード：量子エレクトロニクス、非線形光学、アト秒科学、超高速光科学、レーザー工学

#### 【研究の背景・目的】

物質中の電子の動きを捉えることができるアト秒パルスレーザーは、物理学や化学のみならず生物・医学等分野においても今後必須のツールとなると考えられる。2001年にアト秒パルスおよびパルス列の発生が観測されて以来、その発生・計測法ならびに利用は、急速に発展してきたが、未だに波長域、エネルギー、平均出力等は十分ではなくその応用範囲を制限している。特に、単一アト秒パルスに関しては、その強度および繰り返し速度は、目標となる計測に必要なとされるレベルには達していない。本研究では、我々がこれまで開発してきた2波長励起による高強度の単一アト秒パルスの発生法をさらに高度化し、その波長域をサブkeV領域にまで拡張するとともに、リング型共振器を用いた新しい超高繰り返しアト秒パルス光源を開発し、アト秒科学の先端を切り開くことを目的とする。

#### 【研究の方法】

(1) 高出力単一アト秒パルスの波長域の拡大  
これまでに理研で開発された赤外2波長励起法を拡張し、高出力単一アト秒パルスの短波長化と短パルスを行う。具体的には、非線形媒質をAr、Neとイオン化ポテンシャルの大きな媒質を用いることにより、各々20nm、11nm領域で高出力の単一アト秒パルスを得る。さらに、ショット毎の単一アト秒パルスのエネルギーを安定化させるために、10Hz動作の増幅器システムでもCarrier-Envelope Phase (CEP)を安定化させる手法を開発し、2波長励起レーザーシステムによる高出力で安定な単一アト秒パルスの発生法を確立する。

(2) MHz級超高繰り返しアト秒パルスの発生  
固体表面や吸着分子等のアト秒電子ダイナミクスの計測においては、空間電荷による制限からアト秒パルスの強度よりもMHz級の超高繰り返しが要求されている。これに対応するために、理研で開発してきた共振器内高次高調波発生法と2波長励起法を組み合わせることにより、MHz級の超高繰り返しアト秒パルス光源を実現する。

(3) アト秒ポンプ-プローブ法によるアト秒電子ダイナミクスの計測

同時に複数の電子が励起状態にある多電子励起状態の関与する過程や二重イオン化過程は、電子同士の超

高速相互作用に支配されるため放射光を用いた従来の周波数領域での分光法では、そのダイナミクスを明らかにすることはできなかった。単一アト秒パルスによる時間領域での直接計測は、これを解明する強力な手法としてその実現が強く望まれてきた。本課題では、開発する安定で強力な単一アト秒光源を利用して、これら過程のポンプ-プローブ計測を行うとともにMHz級高繰り返しアト秒光源技術と合わせてアト秒電子ダイナミクス計測の技術地盤を確立する。

#### 【期待される成果と意義】

アト秒電子ダイナミクス計測の大きな目標の一つが、単一アト秒パルスを用いたポンプ-プローブ法による多電子相互作用（電子相関）の解明であるが、これを実現するには、 $10^{14}$  W/cm<sup>2</sup>以上の高強度単一アト秒パルスが必要とされる。本課題では、赤外2波長励起法という新しい単一アト秒パルスの発生法により安定で高出力単一アト秒パルス光源が実現され、2電子励起状態のダイナミクス等の実時間計測が可能となる。また、MHz級の超高繰り返しアト秒パルス光源は、固体表面や吸着分子における電子ダイナミクスの解明を可能とする。これら我々が世界をリードしている二つのアト秒パルス発生技術は、アト秒科学に新たな展開をもたらすものと確信している。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- E. J. Takahashi, P. Lan, O. D. Mücke, Y. Nabekawa, and K. Midorikawa, "Attosecond nonlinear optics using gigawatt-scale isolated attosecond pulses", Nat. Commun. 4, 2691 (2013).
- E. J. Takahashi, P. Lan, O. D. Mücke, Y. Nabekawa, and K. Midorikawa, "Infrared two-color multicycle laser field synthesis for generating intense attosecond pulse", Phys. Rev. Lett. 104, 233901 (2010).

#### 【研究期間と研究経費】

平成26年度-30年度  
134,400千円

#### 【ホームページ等】

[http://www.riken.jp/research/labs/chief/laser\\_tech/](http://www.riken.jp/research/labs/chief/laser_tech/)