

【基盤研究(S)】

大区分D



研究課題名 サブ keV 領域のアト秒科学

理化学研究所・光量子工学研究センター・センター長

みどりかわ かつみ
緑川 克美

研究課題番号： 19H05628 研究者番号： 40166070

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

【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、化学、生物・医科学等の基礎科学分野のみならず、超高速電子デバイスならびに高性能触媒や人工光合成等の化学・材料等の産業分野においても必須のツールとなるとも期待されている。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、未だに利用できる波長域は、光子エネルギーにして100eV以下の極端紫外(XUV)領域に制限されており、今、その波長域の拡大が切望されている。

本課題では、独自に開発した高エネルギー中赤外レーザー光源とルーズフォーカス法を用いることにより、その波長域をサブ keV 領域にまで拡張するとともに偏光制御を含めた新たな利用法を開拓し、アト秒科学の新たな展開を図る。

【研究の方法】

(1) 高エネルギー $3\mu\text{m}$ 光のパルス圧縮フェムト Ti:S レーザーを励起光とした OPA で発生した $2.5\mu\text{m}$ 帯のアイドラー光を希ガスセルに導き、その自己位相変調を利用してスペクトルを $1.8\sim 4.0\mu\text{m}$ にまで拡張し、DC-OPA のシード光とする。さらに、第1増幅器の前に設置した AOPDF によりこのシード光のチャープとパルス幅を調整することにより、増幅中の狭帯域化を改善する。増幅後のパルスは、石英ブロックとチャープミラーを組み合わせた圧縮器で約2サイクルにまで圧縮する。

(2) サブ keV 領域のアト秒高次高調波の発生

(1) で生成した $3.3\mu\text{m}$ パルスを励起光として希ガスセルに集光し、1 keV 近傍までの軟 X 線連続光の発生を行う。励起波長の長波長化とともに1原子あたりの発生効率は、急速に小さくなるが、希ガス自体による吸収がほとんど無視できるので高圧力で位相整合を満たすような条件を設定することにより 10^{-7} 程度の変換効率が期待できる。

(3) X 線過渡吸収分光によるサブフェムト秒構造ダイナミクスの観測

厚さ100nmのAl薄膜上に堆積された厚さ約50nmのグラファイト薄膜に、波長800nm、パルス幅25fsのTi:Sパルスを様々強度で照射し、炭素のK吸収端から700eVまでにわたる連続高次高調波による時間分

解吸収分光を行い、観測されるスペクトルの変化から炭素原子配置の変化を解析する。

(4) 新しい円偏光高次高調波の発生法の開発
高調次数(波長)に依存せず、同軸方向の励起が可能な円偏光高次高調波の発生法を開発する。具体的には、直交する直線偏光の高次高調波発生を2段階で行い、一段目と二段目の時間遅延をアト秒精度で制御することにより、任意の偏光状態を作り出す。

【期待される成果と意義】

我々が $1.6\mu\text{m}$ 光を用いて“水の窓”領域の高次高調波発生に成功して以来、アト秒パルスの励起光源は、それまでの Ti:S の 800nm 光から OPA をベースとした中赤外光に移行している。我々が考案した DC-OPA と名付けられた中赤外光の新しい増幅法を用いることにより、これまで放射光による構造解析が中心であった XAFS 等にサブフェムト秒の時間分解能がもたらされ、物質・材料科学研究が大きく前進するものと期待される。また、サブ keV 領域での円偏光高次高調波の発生は、磁気円二色性法にもサブフェムト秒の時間分解能をもたらす、分子化学や固体物性の研究の進展に大きく貢献するものである。一方、中赤外域のフェムト秒高エネルギー光源の出現は、アト秒科学のみならず広く高強度レーザー物理の研究に新たな局面をもたらす可能性を秘めている。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Y. Fu, K. Midorikawa, and E. J. Takahashi, “Towards a petawatt-class few cycle infrared laser system via dual-chirped optical parametric amplification,” *Sci. Reports*, 8, 7629 (2018).
- E. J. Takahashi, T. Kanai, K. L. Ishikawa, Y. Nabekawa, and K. Midorikawa, “Coherent water window x-ray by phase-matched high-order harmonics,” *Phys. Rev. Lett.* 101, 253901 (2008).

【研究期間と研究経費】

令和元年度～令和5年度
152,400千円

【ホームページ等】

<https://rap.riken.jp/labs/eprg/asrt/>