

自己評価報告書

平成23年 4月17日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2008~2012

課題番号：20225001

研究課題名(和文) 電子線コンプトン散乱の時間分解反応顕微鏡の開発による物質内電子移動の可視化

研究課題名(英文) Visualization of electron transfer in matter with a time-resolved reaction microscope for electron Compton scattering

研究代表者

高橋 正彦 (TAKAHASHI MASAHIKO)

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：80241579

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・物理化学

キーワード：励起分子素過程

1. 研究計画の概要

(1) 化学反応を実時間で観測したいという物理化学者全体の夢は、超短パルスレーザーの発展によって現実のものとなりつつある。これまで、振動分光による官能基の振動数変化、超短パルス電子線回折による核位置の変化、あるいは吸収・発光分光や光電子分光による電子状態変化等の観測を通じて、化学反応途中の系を追跡する試みがなされてきた。しかし、化学反応一般を先導する物質内電子の変化そのものを観測する研究はなかった。

(2) 本研究は、研究代表者らが世界に先駆けて開発した物質内電子の運動量分布を3次元的に与える手法に、超短パルス電子線技術を高度に導入することにより、物質内電子運動が化学反応を先導する形で時々刻々変化する様を観測する新規分光法を開発する。これにより、従来とは異なる観点から、単分子の動的過程の解明を目指す。

(3) 本研究で開発する手法は、超短パルスポンプレーザーにより単分子を光励起した後、ポンプパルスからの遅延時間の関数として、3-30 keVの超短パルス電子線を反応途中の系に照射し、これにより起こるコンプトン散乱で生成する非弾性散乱電子、電離電子、解離イオンの3つの荷電粒子のベクトル(エネルギーと角度)相関測定から過渡状態の物質内電子運動量分布を観測するものである。

(4) 本研究は、計5年の研究期間を、上記実験を行う装置の構成設備を各々整備する第I期(平成20-21年度)、それら設備を組み合わせるシステムとして立ち上げる第II期(平成22年度)、そして基礎・応用実験を行う第III期(平成23-24年度)の3つのフェーズに分ける年次計画に沿って進める。

2. 研究の進捗状況

本研究で開発する電子線コンプトン散乱の時間分解反応顕微鏡装置は、

- (1) 真空メインチェンバー
- (2) 大型排気ポンプ
- (3) 超音速分子線源
- (4) 超短パルスポンプレーザー
- (5) 超短パルス電子線源
- (6) 全方位角 2π 型(e, 2e)電子分光器
- (7) 全立体角 4π 型イオン分光器
- (8) 多次元同時計測電子回路

の8つの設備から成る。これまで、上記の年次計画に沿って研究を推進してきた。すなわち、(1)、(5)-(8)を新規開発、(2)と(3)は研究室保有のものを転用、(4)は市販品を購入するなどして(1)-(8)の構成設備を整備し、第III期(平成23-24年度)で行う基礎・応用実験に向けて、予備的研究を重ねてきた。それらのうち、代表的成果を以下に記す。

上記(1)で製作したアルミニウム製真空メインチェンバー(D1400mm×W1600mm×H900mm)を(2)および(3)と組み合わせ、真空装置として完成させた。また、計23個の高速信号を並列処理する多次元同時計測電子回路を開発し、これと(6)を用いて分光器の電子検出効率の向上に関する実験研究を行った。その結果、本研究の具現化に前提としていた検出効率の数十倍もの改善に成功した。さらに、サファイア基板上に厚み40nmの銀薄膜を蒸着したフォトカソードをベースとする超短パルス電子銃を開発し、強度に関して所期の目標を上回る結果を得た。他方で、本研究の実験結果の解釈に理論的裏付けを与える目的で進めていたレーザー電場下の電子線コンプトン散乱の理論の基礎開発を終えた[雑誌論文リスト③]。

3. 現在までの達成度

- ②おおむね順調に進展している。
(理由)

開発要素を含む上記(1)、(5)–(8)の設備のうち、本研究目的のより確かでより速やかな達成のために2号機として開発中の超大型(e, 2e)電子分光器を除いて、すべて整備した。その大型分光器も、東日本大震災で開発の中断を余儀なくされたが、5月末に完成予定である。これに、平成23年8月にオプティカルパラメトリックアンプシステム(OPA)を市販品として購入することにより、実験装置がシステムとして完成する。以上のように、年次計画に従って、本研究を推進するための基礎固めを概ね所期の目標通りに完了した。

4. 今後の研究の推進方策

平成23年8月のOPA納品までに超大型(e, 2e)電子分光器を迅速に立ち上げ、納品後は直ちに電子線コンプトン散乱の時間分解反応顕微鏡実験に着手する。CH₃I等の気相単純分子を対象として、まずは約30ピコ秒の分解能等緩和した条件下で、実験を開始する。これにより、システムの複合的最適化を図る。その後、所期の目標であるピコ秒オーダーの時間分解能を目指して、装置改良を順次行う。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① N. Watanabe and M. Takahashi
Carbon 1s electron momentum spectroscopy of CF₄
J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 44,
(5 pages) (2011), in press. (査読有)
- ② D. B. Jones, M. Yamazaki, N. Watanabe,
and M. Takahashi
Electron-impact ionization of the water
molecule at large momentum transfer
above the double-ionization threshold
Phys. Rev. A 83, 012704 (8 pages)
(2011). (査読有)
- ③ K. A. Kouzakov, Yu. V. Popov, and M. Takahashi
Laser-assisted electron momentum spectroscopy
Phys. Rev. A 82, 023410 (14 pages)
(2010). (査読有)
- ④ 山崎優一、渡邊昇、高橋正彦
(e, 2e)電子運動量分光の過去、現在、そして未来
原子衝突研究協会誌 7, 4–26 (2010).
(査読有)
- ⑤ M. Takahashi
Looking at molecular orbitals in
three-dimensional form: From dream to reality
Bull. Chem. Soc. Jpn. 82, 751–777
(2009). (査読有)

[学会発表] (計59件)

- ① M. Yamazaki and M. Takahashi
Future prospects of EMS in Sendai
*International Workshop on Frontiers of
Electron Momentum Spectroscopy*
2010 September 9, Sendai, Japan
- ② K. A. Kouzakov, Yu. V. Popov, and
M. Takahashi
Laser-assisted electron momentum spectroscopy
*Intern. Conf. on Many Particle Spectroscopy
of Atoms, Molecules, Clusters and Surfaces*
2010 September 4–7, Sendai, Japan
- ③ N. Watanabe and M. Takahashi
Experimental and theoretical (e, 2e)
studies on He and H₂
*XXVI International Conference on
Photonic, Electronic, and Atomic Collisions*
2009 July 22–28, Kalamazoo, USA
- ④ M. Takahashi
Roles of two-step mechanisms in
electron collision dynamics
*Japan-Korea Symposium on Molecular
Science “Chemical Dynamics in Materials
and Biological Molecular Sciences”*
2009 July 12–14, Awajishima Island, Japan
- ⑤ M. Takahashi
Double electron excitation dynamics studied
by (e, 2e) electron momentum spectroscopy
*Third International Meeting on
Frontiers of Physics*
2009 January 12–16, Kuala Lumpur, Malaysia

[その他]

ホームページ

[http://www.tagen.tohoku.ac.jp/modules/
www85/index.php?content_id=48](http://www.tagen.tohoku.ac.jp/modules/www85/index.php?content_id=48)