

光化学測定器開発研究部門（極端紫外光研究施設）

繁 政 英 治（准教授）（1999年5月1日着任）

A-1) 専門領域：原子分子分光，光化学反応動力学

A-2) 研究課題：

- a) 角度分解高分解能電子分光法による内殻励起原子分子の電子緩和過程
- b) 極紫外光渦による原子分子の光イオン化ダイナミクス
- c) 短波長強レーザー場中の原子分子過程
- d) 内殻励起分子に特有な光解離ダイナミクス

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) BL6Uは、40～400 eVの光エネルギー範囲において、分解能10000以上かつ光強度 10^{10} 光子数/秒以上の性能を有しており、低エネルギー領域における世界最先端ビームラインの一つである。2009年初秋以降、気体の高分解能電子分光を行うための実験装置の整備を進め、アンジュレータとビームライン分光器、及び電子エネルギー分析器を同時に制御できるようにした。これにより、電子スペクトルを光のエネルギーの関数として計測する、高分解能二次元電子分光実験が定常的に行えるようになった。アンジュレータの偏光方向に対して電子エネルギー分析器を回転させることにより、電子放出の偏光依存性に関する情報も取得可能である。原子や分子の内殻電子励起状態や多電子励起状態の電子構造とその崩壊過程を詳細に調べる実験研究を協力研究や国際共同研究として継続して行っている。
- b) 円偏光アンジュレータ放射の高次光は、光渦の性質を持ち合わせていることが知られている。螺旋波面の構造に応じて、光に軌道角運動量が付与されるので、原子分子との相互作用において、通常の電子遷移とは異なる選択則に従うものと考えられる。2014年度から、光渦光子によるイオン化に関する実験研究を開始した。極紫外域の光渦が利用可能なBL1Uに電子画像観測装置を設置し、ヘリウム原子からの光電子角度分布測定を行った。複数回のビームタイムにより、実験方法を確立すると共に、問題点の洗い出しにより、電子画像観測装置の性能安定性を向上させる改良を施し、信頼性の高いデータを取得することに成功した。現状の実験条件では、光イオン化における光渦の効果は極めて小さく、検出限界を下回っていることが明らかになった。
- c) 日本のX線自由電子レーザー（XFEL）、SACLA及びその試験加速器であるSCSSにおいて、X線や極端紫外領域の強レーザー光に曝された原子分子及びクラスターの挙動について、発光分光法に基づく実験研究を進めている。特に、FEL光により励起された原子が集団として振る舞う量子光学効果、超蛍光に関しては、計算機シミュレーションを援用することにより、競合する超蛍光が発展、抑制されるメカニズムを明らかにした。今年度から運用を開始したSACLAのBL1に、我々が開発した極紫外発光観測装置を持ち込みビームライン下流に放射される極紫外領域の発光の観測を試みた。その結果、パルス状の時間構造を有する極紫外発光の観測に成功した。現在、データ解析を進めている。
- d) 内殻励起分子の光解離ダイナミクスについて、我々が開発した電子・イオン同時計測装置を利用した実験を独自の研究及び協力研究として進めている。小さな分子に関しては、内殻イオン化後に高効率で生成されるオージェ最終状態としての二価分子イオンについて、準安定種の電子状態の同定や解離極限と電子状態との相関を決定することに

成功している。昨年度から、観測対象を混合分子クラスターに拡げるべく装置の開発研究を行っている。数百分子サイズの分子クラスターに標的分子をピックアップさせることにより、液相・固相と同様の周辺環境下における標的分子の内殻励起光解離過程の観測を行っている。予備的な実験として、 N_2 分子クラスター中に O_2 分子を混合し、 $O1s$ 電子を光イオン化したところ、 O_2^+ のみならず、 N_2^+ や N^+ 、更には NO^+ などが観測された。このことは、光吸収した O_2 から周辺の N_2 への電荷移行やエネルギー移行が起きていることを示唆している。更なるクラスター生成の高効率化を目指した装置開発を継続中である。

B-1) 学術論文

C. OHAE, J. R. HARRIES, H. IWAYAMA, K. KAWAGUCHI, S. KUMA, Y. MIYAMOTO, M. NAGASONO, K. NAKAJIMA, I. NAKANO, E. SHIGEMASA, N. SASAO, S. UETAKE, T. WAKABAYASHI, A. YOSHIMI, K. YOSHIMURA and M. YOSHIMURA, “Simultaneous Measurements of Superradiance at Multiple Wavelength from Helium Excited States: II. Analysis,” *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 034301 (10 pages) (2016).

O. TRAVNIKOVA, T. MARCHENKO, G. GOLDSZTEJN, K. JÄNKÄLÄ, N. SISOURAT, S. CARNIATO, R. GUILLEMIN, L. JOURNAL, D. CÉOLIN, R. PÜTTNER, H. IWAYAMA, E. SHIGEMASA, M. N. PIANCASTELLI and M. SIMON, “Hard-X-Ray-Induced Multistep Ultrafast Dissociation,” *Phys. Rev. Lett.* **116**, 213001 (5 pages) (2016).

H. IWAYAMA, T. KANEYASU, Y. HIKOSAKA and E. SHIGEMASA, “Stability and Dissociation Dynamics of N_2^{++} Ions Following Core Ionization Studied by an Auger-Electron-Photoion Coincidence Method,” *J. Chem. Phys.* **145**, 034305 (8 pages) (2016).

Y. HIKOSAKA, R. MASHIKO, Y. KONOSU, K. SOEJIMA and E. SHIGEMASA, “Electron Emission Relevant to Inner-Shell Photoionization of Condensed Water Studied by Multi-Electron Coincidence Spectroscopy,” *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **213**, 17–21 (2016).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

日本放射光学会渉外委員 (2005–2006).

日本放射光学会評議員 (2006–2008, 2010–2011, 2012–2014, 2015–).

日本放射光学会渉外幹事 (2007–2009).

学会の組織委員等

日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム組織委員 (1999–2001, 2009, 2012).

第13回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム実行副委員長 (1999).

第13回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (1999).

第19回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム実行委員 (2005).

SRI06 (シンクロトロン放射装置技術国際会議) プログラム委員 (2005).

第22回化学反応討論会実行委員 (2006).

第20回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2006).

第21回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2007).

第2回AOFSSR (放射光研究アジア-オセアニアフォーラム) プログラム委員 (2007).

第23回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2009).
第24回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2010).
第25回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2011).
第30回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2016).
第33回化学反応討論会実行委員 (2016).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

日本学術振興会特別研究員等審査会専門委員 (2014–2015).

東京大学物性研究所共同利用施設専門委員 (2005–2006).

(財)高輝度光科学研究センター利用研究課題選定委員会選定委員 (2007–2009, 2013–2015).

(財)高輝度光科学研究センター利用研究課題選定委員会分科会委員 (2011–2012).

学会誌編集委員

Proceedings of 11th International Conference on Electronic Spectroscopy and Structure, Special Issue of Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, Elsevier, Guest Editor (2010).

Synchrotron Radiation News, Correspondent (2001–).

日本放射光学会学会誌編集委員 (2005–2006).

日本放射光学会学会誌編集委員 (2010–2012). (岩山洋士)

その他

公益財団法人高輝度光科学研究センター・SACLA 利用研究課題審査委員 (2016–2017).

B-8) 大学での講義, 客員

新潟大学大学院自然環境科学科, 自然環境科学集中講義「原子分子物理学II」, 2016年9月5日–7日, 11月28日–30日.

名古屋大学小型シンクロトン光研究センター, 客員准教授, 2007年9月–.

B-10) 競争的資金

科研費基盤研究(B), 「多重同時計測法で探る内殻励起分子の超高速緩和ダイナミクス」, 繁政英治 (2007年–2008年).

科研費基盤研究(B), 「短波長自由電子レーザーによる軟X線超蛍光の観測」, 繁政英治 (2014年–2016年).

松尾学術研究助成, 「極端紫外レーザー光によるクラスター発光分光分析」, 岩山洋士 (2010年).

科研費若手研究(B), 「自由電子レーザー励起によるレーザープラズマ光源の研究開発」, 岩山洋士 (2012年–2013年).

科研費若手研究(B), 「高温ガスセルを用いた振動励起した分子の光電子分光法の開発」, 岩山洋士 (2016年–2018年).

C) 研究活動の課題と展望

我々の専用ビームライン, BL6U での研究については, 二次元電子分光を含む高分解能電子分光法及び電子・イオン同時計測分光法を駆使した研究を推進して行く。観測対象としては, 従来通り, 周期律表の第2周期元素及び第3周期元素を含む分子の 1s 及び 2p 内殻励起領域を中心とするが, 混合分子クラスターに関する研究を新たに展開するためのクラスター装置の開発研究も継続する。内殻正孔状態の脱励起過程に特徴的な高励起一価分子イオンや二価分子イオンの解離過程や安定性について詳細に調べる。これらにより, 電子緩和過程と解離の競合や, 解離過程における結合組み換え反応など, 内殻励起分子に特有な光解離ダイナミクスや二価分子イオンの安定性に対する電子状態の果たす役割について理解を深め

たい。一方、BLIUにおける極紫外域の光渦を利用した電子分光実験については、今年度整備された分光ビームラインにおいて、分光された光渦光子による実験を行う。また、短波長FELの出現によって可能となった、EUVからX線領域における強レーザー場中の原子分子、及びクラスターの挙動に関する研究については、発光分光法による実験研究を継続する。特に、最近のSACLAでの実験で観測された、超蛍光である可能性が高いEUV領域における発光現象について、蛍光強度の試料濃度依存性を高分解能で時分割測定することにより、世界初となるEUV領域での超蛍光観測の確証を得たい。