

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：軟X線分子分光，光化学反応動力学

A-2) 研究課題：

- a) 高分解能電子分光法及び電子・イオン同時計測分光法による原子分子の内殻励起ダイナミクスの研究
- b) 電子多重同時計測法による原子分子の多重電離過程の研究
- c) 角度相関計測のための高効率電子エネルギー分析器の開発
- d) 中性質量選別クラスター源及び多成分混合分子クラスター源の開発
- e) 発光分光法による短波長強レーザー場中の原子分子過程の研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 我々の専用ビームライン 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、及び、アンジュレータと分光器、及び電子エネルギー分析器を同時に制御するための整備を行い、国際共同研究を中心に、分子の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継続して行っている。2010年以降、小さな分子の内殻励起に伴う超高速解離過程を観測対象として、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、二次元電子分光法を利用した研究を展開している。一方、内殻励起分子の解離ダイナミクスに関しては、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研究を協力研究として進めている。
- b) 高い検出効率を誇る、磁気ボトル型電子エネルギー分析器を利用した、原子分子の多重光電離過程の解明に関する研究を国際共同研究のもう一つの柱として継続している。特に、これまで直接的な観測がなされていなかった、1光子の吸収により分子の内殻電子二つが放出される内殻二正孔状態の生成過程について、異なる原子サイトから二電子が放出される過程が存在することを明らかにした。これらの実験研究は、従来、KEK-PF やドイツの放射光施設 BESSY で行われてきたが、2010年度後半から、フランスの放射光施設 SOLEIL においても国際共同研究を行っている。なお、磁気ボトル型分析器ではエネルギー分解能が不十分な場合については、BL6U において高分解能電子分光実験を実施し、高分解能スペクトルを取得している。
- c) 上述のように、磁気ボトル型電子エネルギー分析器の導入により、軟X線領域における原子分子の多重電離過程に関する理解は急速に深まったと言える。しかしながら、磁気ボトル型分析器では、多重電離ダイナミクスの本質を理解するために必須となる放出電子間の角度相関に関する情報を得ることは原理的に難しい。この困難を克服するために、磁気ボトル型分析器と静電場を利用した飛行時間型分析器とを組み合わせた新しいエネルギー分析器の開発を進めている。
- d) BL6U での観測対象を気相の原子分子から種々のクラスターに拡張するために、クラスター源の開発を行っている。従来の放射光によるクラスター実験では、クラスターのサイズ選別は行われておらず、吸収スペクトルの構造などは全て平均クラスターサイズで議論されてきた。この状況を打破し、質量選別したクラスターの吸収スペクトルを直接観測することを目指して装置開発を行っている。また 大型の排気装置を利用した多成分混合分子クラスター源の開発も行っている。
- e) 日本のX線自由電子レーザー（XFEL）、SACLA の試験加速器として SPring-8 サイトに建設された SCSS において、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。ごく最近、EUV-FEL 光により励起された希ガスクラスターが、入射 FEL よりも短波長の蛍光を放出していることを見出した。平均クラスターサイズ 100 個程度の Ar クラスターに、波長 51 nm の EUV-FEL 光を照射した場合、20 nm から 60 nm 程度の波長範囲に亘り、多数のピーク状構造が観測された。観測された蛍光の FEL 強度依存性、クラスターサイズ依存性、及びノズル距離依存性の測定から、高強度 EUV-FEL 照射によるナノプラズマの生成と電子・イオン再結合反応による励起多価イオンの効率的な生成が、短波長蛍光放出のメカニズムであると結論付けられた。一方、SACLA の XFEL を利用した研究として、高濃度 Kr 原子や Cu などの凝縮系を観測対象とした、X 線を含む短波長領域での超蛍光の観測を目指した共同研究を進めている。

B-1) 学術論文

A. SUGISHIMA, H. IWAYAMA, S. YASE, H. MURAKAMI, K. NAGAYA, M. YAO, H. FUKUZAWA, X.-J. LIU, K. MOTOMURA, K. UEDA, N. SAITO, L. FOUCAR, A. RUDENKO, M. KURKA, K.-U. KÜHNEL, J. ULLRICH, A. CZASCH, R. DÖRNER, R. FEIFEL, M. NAGASONO, A. HIGASHIYA, M. YABASHI, T. ISHIKAWA, T. TOGASHI, H. KIMURA and H. OHASHI, "Charge and Energy Transfer in Argon-Core-Neon-Shell Clusters Irradiated by Free-Electron-Laser Pulses at 62 nm," *Phys. Rev. A* **86**, 033203 (6 pages) (2012).

T. GEJO, T. TAMURA, K. HONMA, E. SHIGEMASA, Y. HIKOSAKA and Y. TAMENORI, "Angle-Resolved Metastable Fragment Yields Spectra of N₂ and CO in K-Edge Excitation Energy Region," *J. Chem. Phys.* **136**, 054201 (7 pages) (2012).

H. IWAYAMA, M. NAGASONO, J. R. HARRIES and E. SHIGEMASA, "Demonstration of Up-Conversion Fluorescence from Ar Clusters in Intense Free-Electron-Laser Fields," *Opt. Express* **20**, 23174–23179 (2012).

B-4) 招待講演

岩山洋士, 「XFEL (SACLA) による超蛍光の観測を目指して」原子衝突学会改称記念式典, 調布, 2012年7月.

繁政英治, 「短波長自由電子レーザーによる指向性発光現象の探索」光化学討論会ランチョンセミナー, 大岡山, 2012年9月.

繁政英治, 「UVSOR における高輝度利用研究の現状と EUV-FEL 利用研究の新展開」東北大学電子光理学研究センター平成24年度電子光理学研究拠点研究会, 仙台, 2012年11月.

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 (2006–2009, 2010–2011, 2012–).

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).

学会誌編集委員

- 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-). (岩山洋士)

その他

- 東京大学物性研究所共同利用施設専門委員 (2005-2006).

B-8) 大学での講義, 客員

- 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)(2), 「内殻励起分子に特有な分子構造変化を伴う緩和過程の研究」 繁政英治 (2000年-2002年).
- 科研費基盤研究(B), 「分子の内殻電離しきい値近傍における多電子効果の研究」 繁政英治 (2003年-2005年).
- 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).
- 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).

C) 研究活動の課題と展望

BL6U では, SPring-8 では実施出来ない 250 eV より低いエネルギー領域において, 設計値に近い分光性能に達している。この優れた分光性能を活かすことが出来る, 周期律表の第3周期元素の 2p 内殻励起領域を観測対象とし, 二次元電子分光を含む高分解能電子分光実験及び電子・イオン同時計測分光実験を行うことにより, 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分光情報を取得し, 内殻励起分子のダイナミクスに関する理解を深めたい。また, 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, 及びクラスターの非線形過程に関して, 発光分光法に基づく実験研究を継続する。短波長領域での原子分子ダイナミクスが, 近赤外域で確立されつつある描像で解釈できるのかは未知であり, 強レーザー場に対する原子分子過程の本質的理解を得たい。