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) 内殻励起に起因する諸過程のダイナミクス
- 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) 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
- d) シリコンドリフト検出器による内殻空孔状態の蛍光緩和過程の研究

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 1010 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、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法の開発を行った。国際共同研究を中心に、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継続して行っている。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を協力的研究として進めている。特に二原子分子の場合、オージェ電子および解離イオンの運動エネルギーを同期計測することで、オージェ終状態ごとに解離イオンの電子状態を明らかにすることができる。理論計算による二価分子イオンのポテンシャル曲線と実験データを比較することにより、二価分子イオンの安定性や反応動力学について研究を進めている。
- b) 円偏光アンジュレータ放射の高次光には、螺旋状の波面を持ち中心部の強度がゼロとなる特異な状態の光、いわゆる光渦の性質があ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。UVSOR に設置されている、可変偏光型アンジュレータ U1 を光源とする BL1U は、極紫外域の光渦が利用可能な数少ないビームラインであり、ここに電子イメージング装置を持ち込んで、ヘリウム原子からの光電子角度分布測定を行った。BL1U は、ビームラインとしては最低限の設備しかないため、偏向電磁石部からの散乱光による二次電子が多量に発生し、必要な観測データを得ることは困難を極めた。複数回のビームタイムにより、二次電子によるバックグラウンドを低減した状態での測定に成功した。現在、データ解析中である。
- c) 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来た。SCSS の運転停止・移設に伴い、SACLA での発光分光実験を行っている。SACLA の利用研究として、100nm 集光ラインにおいて、Ti 薄板に XFEL を集光照射し、X 線領域における 2 光子吸収過程の観測に世界に先駆けて成功した。今後も、X 線領域における非線形過程の観測や 2 光子吸収過程を利用した XFEL パルス幅の直接計測などの実験研究を進める。

- d) 軽元素の内殻空孔状態は、主にオージェ電子放出によって緩和する。しかし、1%以下の低い確率ながら、軟X線を放出する蛍光緩和過程が存在する。我々は、従来の検出器よりも格段に検出感度が高い、シリコンドリフト検出器を用いて、軟X線蛍光収量法によるX線吸収スペクトルの計測を行った。内殻共鳴励起に対応するピークの強度は、全イオン収量によるスペクトルとは異なることが明らかになった。今後、軟X線蛍光の放出角度異方性、及び蛍光寿命の評価を行い、軽元素の内殻空孔状態の蛍光緩和過程について研究を進めて行く。

B-1) 学術論文

Y. HIKOSAKA, P. LABLANQUIE, F. PENENT, P. SELLES, E. SHIGEMASA and K. ITO, “Resonant Multiple Auger Decay after the $2p_{3/2}^{-1} 4s$ Excitation in Ar Studied with a Multielectron Coincidence Method,” *Phys. Rev. A* **89**, 023410 (6 pages) (2014).

Y. HIKOSAKA, M. SAWA, K. SOEJIMA and E. SHIGEMASA, “A High-Resolution Magnetic Bottle Electron Spectrometer and Its Application to a Photoelectron–Auger Electron Coincidence Measurement of the $L_{2,3}VV$ Auger Decay in CS_2 ,” *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **192**, 69–74 (2014).

K. TAMASAKU, E. SHIGEMASA, Y. INUBUSHI, T. KATAYAMA, K. SAWADA, H. YUMOTO, H. OHASHI, H. MIMURA, M. YABASHI, K. YAMAUCHI and T. ISHIKAWA, “X-Ray Two-Photon Absorption Competing against Single and Sequential Multiphoton Processes,” *Nat. Photonics* **8**, 313–316 (2014).

Y. HIKOSAKA, Y. SHIBATA, K. SOEJIMA, H. IWAYAMA and E. SHIGEMASA, “Site-Specific Formation of Metastable Dications Following Inner-Shell Ionization of CO_2 ,” *Chem. Phys. Lett.* **603**, 46–50 (2014).

T. GEJO, T. IKEGAMI, K. HONMA, O. TAKAHASHI, E. SHIGEMASA, Y. HIKOSAKA and Y. TAMENORI, “Dynamics of Oxygen Rydberg Atom Generation Following O 1s Inner-Shell Excitation of H_2O ,” *J. Chem. Phys.* **140**, 214310 (7 pages) (2014).

P. LABLANQUIE, H. IWAYAMA, F. PENENT, K. SOEJIMA and E. SHIGEMASA, “Lifetime Broadening of Atomic Lines Produced upon Ultrafast Dissociation of HCl and HBr,” *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **195**, 96–100 (2014).

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).

SR106 (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 AOFSSRR (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).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

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–).

(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)

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), 「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).

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).

C) 研究活動の課題と展望

BL1Uにおいて実施した極紫外域の光渦を利用した電子分光実験で明らかになった散乱光の問題については、今後、ビームライン上流に四象限スリットやマスクを導入するなどのビームライン整備を実施することで解決を図る。また、より高度な実験研究を実施するために、分光ビームラインの整備を進めている。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実験及び電子・イオン同時計測分光実験を周期律表の第3周期元素の2p内殻励起領域を観測対象として継続し、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する。これにより、電子緩和過程と解離の競合など、内殻電子励起状態のダイナミクスや二価分子イオンの安定性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。これにより、短波長領域での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。