

極端紫外光実験施設

鎌 田 雅 夫 (助教授)*)

A-1) 専門領域：放射光科学、光物性

A-2) 研究課題：

- a) 固体の内殻励起状態とその減衰過程の研究
- b) 光誘起現象(脱離、相転移)のダイナミックスの研究
- c) 半導体表面の電子状態の研究
- d) 放射光科学の新しい方法論の開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 固体の内殻励起状態は、輻射過程、電子放出、欠陥生成、脱離などの種々の脱励起過程を経て、エネルギーを散逸する。これらの各過程の起こる機構やその中の物性情報などを解明する目的で研究を行っている。たとえば、オージェフリー発光物質の光電子分光測定などを行い、無輻射過程による内殻励起子の減衰機構を明らかにした。
- b) 結晶を光励起すると、構造や機能などが基底状態と異なった新たな光誘起相が出現することがある。これらの光誘起現象は、非平衡電子格子状態や協同現象の理解を要求する興味深いテーマである。これを明らかにするために、京大や産総研と共同で電子状態や構造変化の測定を行い、スピנקロスオーバー錯体を光励起した際の電子状態の変化を明らかにした。
- c) 結晶表面はバルクとは異なった構造と電子状態を示し、表面に特有の物性を発現させたりする。そこで、清浄ならびに吸着した半導体表面の電子状態を調べている。たとえば、GaAsや超格子について、Csや酸素を共吸着させた負の電子親和力表面の形成過程を光電子分光法で明らかにした。また、レーザーとの同期システムを用いて、光誘起起電力のダイナミクス測定を続行中である。
- d) 放射光を有効に利用するためには、新しい測定法の開発が必要である。スピン角度分解光電子分光法、レーザー光との組み合わせ実験、時間分解測定、分光器、顕微分光の開発などを行っている。たとえば、京大、信州大、岡山大、香川大、大阪歯科大などと共同して、放射光とレーザー光との組み合わせにより、1光子遷移とは異なった選択則に従う2光子励起を行い、p 励起子のエネルギー位置を決定することに成功した。また、レーザー変調反射法、赤外過渡吸収分光などの放射光とレーザーの組み合わせ実験を行なった。

B-1) 学術論文

S. ASAKA, M. ITOH and M. KAMADA, "Ultraviolet light amplification within a nanometer-sized layer," *Phys. Rev. B* **63**, 81104 (2001).

S. TANAKA, S. D. MORE, J. MURAKAMI, M. ITOH, Y. FUJII and M. KAMADA, "Surface photovoltage effects on p-GaAs(100) from core-level photoelectron spectroscopy using synchrotron radiation and a laser," *Phys. Rev. B* **64**, 155308-1 (2001).

M. ITOH and M. KAMADA, “Comparative study of Auger-Free Luminescence and Valence-Band Photoemission in Wide-Gap Materials,” *J. Phys. Soc. Jpn.* **70**, 3446 (2001).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

M. KAMADA, S. TANAKA, K. TAKAHASHI, Y. DOI, K. FUKUI, T. KINOSHITA, Y. HARUYAMA, S. ASAKA, Y. FUJII and M. ITOH, “Beam-line systems for pump-probe photoelectron spectroscopy using SR and laser,” *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* **467/468**, 1441-1443; Proc. 7th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (2001).

S. ASAKA, J. AZUMA, T. TSUJIBAYASHI, M. ITOH, M. WATANABE, O. ARIMOTO, S. NAKANISHI, H. ITOH and M. KAMADA, “Optical detection system using time structure of UVSOR for combined laser-SR experiments,” *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* **467/468**, 1455-1457; Proc. 7th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (2001).

S. D. MORÉ, S. TANAKA, T. NISHITANI, T. NAKANISHI and M. KAMADA, “Cesiumoxide-GaAs Interface and layer thickness in NEA surface formation,” *SPIN2000* 916-919, proceedings of 14th international Spin physics symposium (2001).

S. TANAKA, K. TAKAHASHI, S. D. MORÉ, T. NISHITANI, T. NAKANISHI and M. KAMADA, “Surface photo-voltage effect on clean and NEA surfaces of GaAs and its superlattice,” *SPIN2000* 1000-1002, proceedings of 14th international Spin physics symposium (2001).

B-4) 招待講演

鎌田雅夫, 「電子バンド構造の変化——放射光とレーザーの組み合わせによる測定——」, 東大弥生研究会, 極短量子ビームポンプ&プローブ分析(Ⅱ), 2001年3月.

T. KAMADA, “Photo-induced phase transition studied by photoelectron spectroscopy,” Int. Conf. Photo-induced phase transition, November 2001.

鎌田雅夫, 「放射光とレーザーの複合実験——光誘起現象——」, 物性研研究会, 2001年11月.

B-6) 学会および社会的活動

学協会役員、委員

日本放射光学会評議員(1995-1998, 1999-2000).

日本放射光学会渉外幹事 (1999-2000).

学会の組織委員

日本放射光学会合同シンポジウムプログラム委員(1999).

日本物理学会イオン結晶光物性分科世話人(1998.11-1999.10).

学会誌編集委員

Synchrotron Radiation News correspondent (1993.4-).

科学研究費の研究代表者、班長等

特定領域研究B「放射光と可視レーザー光との組み合わせによる新しい分光法」班代表者 (1999-2001).

B-7) 他大学での講義、客員

山形大学理学部特別講義, 2001年9月.

C) 研究活動の課題と展望

放射光とレーザーを組み合わせた実験が萌芽的な第一段階から, 有用な情報が得られる第二段階に入った。そこで, 多くの物質への応用研究も意識して, より原理的な理解を深めるつもりである。また, 2001年10月から佐賀大学に本拠を移し, 佐賀県鳥栖に建設されるシンクロトン施設計画を推進するとともに, 分子研UVSOR施設などを利用して, 放射光とレーザーシステムの組み合わせによる物性研究の展開を行う。

* 2001年10月1日佐賀大学理工学部教授

繁 政 英 治 (助 教 授)

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) 内殻励起分子の光解離ダイナミクスの研究
- b) 二次元検出器付き高効率エネルギー分析器の開発
- c) 高性能斜入射分光器の開発
- d) しきい電子 - イオン同時計測装置の開発(下僚助手)
- e) 放射光と自由電子レーザーを併用した分光実験

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 内殻励起分子の解離ダイナミクスの詳細を解明するためには、振動分光が可能な高性能分光器が必要不可欠である。90～600 eVのエネルギー範囲で、分解能5000以上を達成する事を目指して、不等刻線平面回折格子を用いた斜入射分光器を建設した。性能評価実験の結果、新分光器は初期の目標に近い性能を有することが確認された。この分光器を用いて、窒素分子の1s励起領域における高分解能対称性分離スペクトルを測定し、連続状態中に埋もれた通常の吸収分光では検出できない多電子励起状態の観測に成功した。特に、 Π 対称性スペクトルにおいて、 Σ 対称性スペクトル中に観測される形状共鳴とほぼ同じエネルギー位置に新たに見出された構造は、三電子励起状態である事が量子化学計算から明らかにされた。
- b) 通常のオージェ電子放出過程は、先ず内殻正孔状態が形成され、引き続いてオージェ電子放出過程が起こる二段階過程であると考えられてきた。ところが、CO分子のC1s ノーマルオージェ電子スペクトル中のB状態 ($1\sigma \{ (5\sigma)^{-1} (4\sigma)^{-1} \}$) について、平行遷移と垂直遷移後の配向分子からのオージェ電子の角度分布を、 σ^* 形状共鳴において測定したところ、両者が全く異なる事が分かった。さらに、それら角度分布は光エネルギーに顕著に依存した振る舞いを示す。本来、オージェ過程を記述する際に用いられる二段階モデルは、光電子とオージェ電子の間の相互作用、PCI (Post Collision Interaction) 効果が大きな電離しきい値近傍では成立しない事が知られており、今回の観測結果はこの事実と矛盾しない。配向分子からの角度分布を記述する従来の理論計算は殆どが二段階モデルに基づいているが、我々の実験結果から、しきい値近傍での角度分布の解析には、二段階モデルを超えた新しい理論が必要である事が示された。
- c) 多電子励起状態や光電離に伴う価電子の励起や電離と言ったいわゆるShake過程は、電子相関に起因する現象である。そのような状態を検出する手段としては、高分解能化し易く検出感度が極めて高い理由から、しきい電子分光法が主流となっている。内殻励起領域には、上述したように、内殻吸収スペクトル中に多電子励起状態が多数存在するが、これらを高分解能しきい電子分光法で調べた例はない。そこで、これらの電子状態に関する知見を得る事を目的として、高分解能しきい電子検出器と対称性分離分光装置を組み合わせた新しい分光法を実現するべく装置の立ち上げを行っている。また、電子やイオンの角度分布とエネルギー分布の同時計測を可能にするため、二次元検出器を組み込んだ新しいエネルギー分析器を製作し、現在立ち上げを進めている。(下僚助手)
- d) 自由電子レーザー (FEL) を実際の分光実験に利用する事を目指して、JVSORマシングループと共同研究を進めている。放射光とレーザーを組み合わせたいわゆる二色実験は、フランスのLUREをはじめ、各地の放射光施設で行われ、成果も報告されているが、放射光とFELを組み合わせた実験例は殆ど報告がない。そこで我々は、これを世界に

先駆けて行う事を最優先し 既にLUREで研究成果が上がっているXe原子の $5p^5(^2P_{3/2})4f$ 共鳴自動イオン化状態の観測にターゲットを絞り実験を行った。綿密にアライメントを行い 実験条件を最適化する事により FELを用いた気相実験としては世界で初めてこの共鳴状態の観測に成功した。

B-1) 学術論文

T. KIYOKURA, F. MAEDA, Y. WATANABE, Y. IKEKAKI, K. NAGAI, Y. HORIKAWA, M. OSHIMA, E. SHIGEMASA and A. YAGISHITA, “Throughput Measurement of a Multilayer-Coated Schwarzschild Objective Using Synchrotron Radiation,” *Opt. Rev.* **7**, 576 (2000).

K. ITO, J. ADACHI, R. HALL, S. MOTOKI, E. SHIGEMASA, K. SOEJIMA and A. YAGISHITA, “Photoelectron angular distributions from dissociative photoionization channels of fixed-in-space molecular hydrogen,” *J. Phys. B.* **33**, 527 (2000).

Y. TAKATA, E. SHIGEMASA and N. KOSUGI, “Mg and Al K-edge XAFS measurements with a KTP crystal monochromator,” *J. Synchrotron Radiat.* **8**, 351 (2001).

R. GUILLEMIN, E. SHIGEMASA, K. LE GUEN, D. CEOLIN, C. MIRON, N. LECLERCQ, P. MORIN and M. SIMON, “Dynamical Angular Correlation in Molecular Auger Decay,” *Phys. Rev. Lett.* **87**, 203001-1 (2001).

B-4) 招待講演

E. SHIGEMASA, “Anisotropy in molecular inner-shell photoexcitation, photoionization and subsequent decay processes,” VUV-XIII Satellite Meeting “Decay Processes in Core-Excited Species,” Rome (Italy), July 2001.

T. GEJO, “A two-color experiment on Xenon at UVSOR,” “Workshop on Scientific Opportunities with the SOLEIL Free Electron Laser,” Paris (France), September 2001.

B-6) 学会および社会的活動

学会の組織委員

第14回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-)。

学会誌編集委員

日本放射光学会誌編集委員(1999-2001)(下條助手)

C) 研究活動の課題と展望

ようやく高性能斜入射分光器を有する専用ビームラインの建設が終了し、新しい研究拠点の整備の半分が終了した。引き続いて 実験装置の整備を重点的に進めているところである。他施設での研究とは異なる独自性を出すために、当面は、内殻励起状態の解釈、特にスペクトル同定に繋がる情報を引き出す実験手法の開発に重点を置きたい。これは、直線偏光に対する分子の空間的な配向や原子核の運動が、電子放出や解離過程に対してどのように影響するのかといったダイナミクスの詳細の解明のためには、その初期状態である内殻励起状態の正しい解釈が不可欠だからである。ダイナミクスの研究をUVSORで実現するためには、二次元検出器内蔵の高効率同時計測装置の開発が必須である。しかし、このような装置の開発・立ち上げにはかなりの時間が必要なので、国内外の放射光施設での共同研究も当面は継続して行く方針である。また、FELと放射光の二色実験も、比較的实验のやり易い希ガスを中心に実験条件に相応しい系を模索しつつ、アルカリ原子や分子も視野に入れながらマシングループとの共同開発研究を進めて行くつもりである。

加 藤 政 博（助教授）

A-1) 専門領域：加速器科学

A-2) 研究課題：

- a) シンクロトロン放射光源の研究
- b) 自由電子レーザーの研究
- c) 相対論的電子ビームを用いた光発生の研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) UVSOR光源リングの高度化を目指してビームオプティクス你再検討を行った。その結果、直線部のビーム収束系の改良により、ビームエミッタンスを現在の値の約1/6まで小さくでき、一方で挿入光源設置可能な直線部の数を倍増できることを見出した。高度化に用いられるビーム収束用多極電磁石の設計・試作を行い、性能評価を行った。その結果目標の磁場を発生できることを確認した。また高度化後に主力の光源となる真空封止型短周期アンジュレータの開発を開始した。ハードウェアはほぼ完成し精密磁場調整を進めている。2002年春にリングに実装し性能評価を開始する予定である。
- b) 放射光と自由電子レーザー光を併用した利用実験を実現するための技術開発として、レーザー出力の向上と安定化に取り組んでいる。光共振器の防振、電子ビームとの精密な同期の維持の実現により、安定なCW発振の実現に成功した。一方で蓄積リングを4バンチで運転することにより最大1.2 W(可視域)まで出力を高めることに成功した。これは蓄積リング自由電子レーザーとしては世界最高記録となる。また自由電子レーザー光をアンジュレータ放射光ビームラインに輸送し、2つの光パルスの完全な同期をとることに成功した。これらを用いてXeの二重励起実験に成功した。自由電子レーザー光とアンジュレータ放射光の組み合わせによる実験は世界初のものである。
- c) 従来の放射光パルスは100ピコ秒程度であるが、これよりもはるかに短いサブピコ秒の放射光パルスの生成の可能性について検討を行った。その結果、UVSOR光源リングの電子ビームとピーク出力1 GW程度の短パルスレーザーを相互作用させバンチの一部を切り出すことで、サブピコ秒の放射光パルスを生成できる可能性があることを見出した。現在、基礎実験のための機器配置の検討を進めている。

B-1) 学術論文

S. KODA, M. HOSAKA, J. YAMAZAKI, M. KATOH and H. HAMA, "Development of Longitudinal Feedback System for a Storage Ring Free Electron Laser," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* **475**, 211 (2001).

M. HOSAKA, S. KODA, M. KATOH, J. YAMAZAKI and H. HAMA, "FEL Induced Electron Bunch Heating observed by a Method based on Synchronous Phase Detection," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* **475**, 217 (2001).

M. KATOH, K. HAYASHI, T. HONDA, Y. HORI, M. HOSAKA, T. KINOSHITA, S. KOUDA, Y. TAKASHIMA and J. YAMAZAKI, "New Lattice for UVSOR," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* **467-468**, 68 (2001).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

M. KATOH, M. HOSAKA, A. MOCHIIHASHI, Y. HORI, T. KINOSHITA, J. YAMAZAKI, K. HAYASHI, Y. TAKASHIMA and S. KODA, “Present Status of UVSOR Accelerators,” *Proceedings of the 13th Symposium on Accelerator Science and Technology*, 181-183 (2001).

J. YAMAZAKI, M. KATOH, Y. HORI, M. HOSAKA, A. MOCHIIHASHI, T. KINOSHITA, K. HAYASHI, Y. TAKASHIMA and S. KODA, “Lattice Components for Upgrading UVSOR,” *Proceedings of the 13th Symposium on Accelerator Science and Technology*, 280-282 (2001).

K. HAYASHI, M. KATOH, M. HOSAKA, A. MOCHIIHASHI, T. KINOSHITA, J. YAMAZAKI, Y. TAKASHIMA, T. HONDA and S. KODA, “New BPM System at UVSOR,” *Proceedings of the 13th Symposium on Accelerator Science and Technology*, 372-374 (2001).

T. FUJITA, K. GOTO, T. KASUGA, M. KATOH, Y. KOBAYASHI, T. OBINA, M. TOBIYAMA, K. UMEMORI, K. YADOMI and K. YOSHIDA, “Bunch Lengthening caused by HOM in HiSOR electron storage ring,” *Proceedings of the 13th Symposium on Accelerator Science and Technology*, 322-324 (2001).

B-3) 総説、著書

加藤政博, 「UVSOR高度化計画」, *日本放射光学会誌* **14**, 27-33 (2001).

B-6) 学会および社会的活動

学会等の組織委員

加速器科学研究発表会世話人 (2001-).

学会誌編集委員

放射光学会誌編集委員 (2000-).

その他の委員

日中拠点大学交流事業(加速器科学分野)国内運営委員会委員(2000-).

佐賀県シンクロトン光応用研究施設・光源装置設計評価委員(2001-).

むつ小川原地域における放射光施設整備に係る基本設計等調査評価会(加速器)委員(2001-).

B-7) 他大学での講義、客員

高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所, 客員助教授, 2000年4月-.

C) 研究活動の課題と展望

UVSOR光源リングは適切な規模の改造により、飛躍的に性能を向上できる。ビーム収束系、真空系など、必要な加速器要素の設計開発をほぼ完了し、ビーム収束系に関しては性能評価も完了している。このUVSOR高度化計画の2002年度からのスタートを目指して準備作業は最終段階に入っている。自由電子レーザーに関しては、実用化に向けた技術開発を続けていく。特に放射光との同時利用を意識して、高出力化、安定化、同期性の維持、実験ステーションまでの安定な輸送などに重点をおく。レーザーとの相互作用を利用した極短パルス放射光の生成は、加速器本体に大幅な改造を加えることなく実現できることから、基礎実験の早期実現に向けて検討を続けている。