

## 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、長残光物質の真空紫外線励起効率の測定などを行い、エネルギー伝達の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、京大や電総研と共同で電子状態や構造変化の測定を行っている。たとえば、スピントロスオーバー錯体を光励起すると電子状態が大きく変わることが光電子分光により明らかとなった。
- 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、名大と共同で、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、新しい測定法の実用化が必要である。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、東大、姫路工大、福井大と共同して光電子顕微鏡システムを設置した。

B-1) 学術論文

S. TANAKA, K. MASE, M. NAGASONO, S. NAGAOKA, M. KAMADA, E. IKENAGA, T. SEKITANI and K. TANAKA, "Electron-Ion Coincidence Spectroscopy as a New Tool for Surface Analysis—Application to the Ice Surface," *Jpn. J. Appl. Phys.* **39**, 4489 (2000).

S. TANAKA, K. MASE, M. NAGASONO, S. NAGAOKA and M. KAMADA, "Electron-ion coincidence study for the TiO<sub>2</sub>(110) surface," *Surf. Sci.* **451**, 182 (2000).

S. WAKO, M. SANO, Y. OHNO, T. MATSUSHIMA, S. TANAKA and M. KAMADA, "Orientation of oxygen an-molecules on stepped platinum (112)," *Surf. Sci.* **461**, L537 (2000).

**V. B. MIKAHAILIK, M. ITOH, S. ASAKA, Y. BOKUMOTO, J. MURAKAMI and M. KAMADA**, “Amplification of impurity-associated Auger-free luminescence in mixed rubidium-caesium chloride crystals under core-level excitation with undulator radiation,” *Opt. Commun.* **171**, 71 (1999).

**T. TSUJIBAYASHI, M. WATANABE, O. ARIMOTO, M. ITOH, S. NAKANISHI, H. ITOH, S. ASAKA and M. KAMADA**, “Resonant enhancement effect on two-photon absorption due to excitons in alkaline-earth fluorides excited with synchrotron radiation and laser light,” *Phys. Rev. B* **60**, 8442 (1999)

#### B-2) 国際会議のプロシーディングス

**M. KAMADA, J. MURAKAMI and N. OHNO**, “Excitation spectra of a long-persistent phosphor  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu,Dy}$  in vacuum ultraviolet region,” *J. Lumin.* **87-89**, 1042 (2000).

**T. TSUJIBAYASHI, M. WATANABE, O. ARIMOTO, M. ITOH, S. NAKANISHI, H. ITOH, S. ASAKA and M. KAMADA**, “Two-photon excitation spectra of exciton luminescence in  $\text{BaF}_2$  obtained by using synchrotron radiation and laser,” *J. Lumin.* **87-89**, 254 (2000).

**M. KAMADA, J. MURAKAMI, S. TANAKA, S. D. MORE, M. ITOH and Y. FUJII**, “Photo-induced change in semiconductor-vacuum interface of p-GaAs(100) studied by photoelectron spectroscopy,” *Surf. Sci.* **454-456**, 525 (2000).

**S. MORE, S. TANAKA, S. TANAKA, Y. FUJII and M. KAMADA**, “Coadsorption of Cs and O on GaAs: Formation of negative electron affinity surfaces at different temperatures,” *Surf. Sci.* **454-456**, 161 (2000).

#### B-4) 招待講演

鎌田雅夫, 「ポンププローブ光電子分光」, 日本放射光学会, 2001年1月.

**M. KAMADA**, “Photo-induced effect on semiconductor surfaces studied by synchrotron radiation and laser,” OKAZAKI Conference (Nano-structure and nano-Science), January 2000.

鎌田雅夫, 「放射光とレーザーの組み合わせによる新しい物性研究:現状と将来展望 脱離と光電子分光」, 日本物理学会, 2000年3月.

鎌田雅夫, 「Versatile放射光光源 放射光とレーザーの組み合わせ実験」, 応用物理学会, 2000年3月.

鎌田雅夫, 「ポンプ - プローブ分光」, 東大弥生研究会, 2000年3月.

鎌田雅夫, 「時間分解内殻光電子分光による半導体表面の研究」, 電総研研究会, 2000年7月.

鎌田雅夫, 「放射光パルス利用の現状と短パルス軟X線源への期待」, 原研光量子科学センター研究会, 2000年7月.

**M. KAMADA**, “Experiments with Combined Laser and SR at the UVSOR Facility,” LSWAVE (Laser and short wavelength) meeting, Berlin, August 2000.

**M. KAMADA**, “Photo-induced phase transition studied by photoelectron spectroscopy,” Dusseldorf Univ. (Germany), August 2000.

鎌田雅夫, 「放射光とレーザー組み合わせ光電子分光による光誘起相転移」, 光誘起相転移研究会, 2000年9月.

鎌田雅夫, 「光電子分光による光誘起相転移」, 強相関研究会, 2000年11月.

鎌田雅夫, 「放射光とレーザー組み合わせによる半導体表面研究」, 表面科学会年会, 2000年11月.

鎌田雅夫, 「21世紀のVUV光物性への一考察」, 分子研研究会(紫外・真空紫外の新しいニーズと放射光利用), 2000年12月.

鎌田雅夫,「放射光とレーザーとの併用実験」,東大物性研研究会(高輝度光源計画の現状と放射光利用研究の展望)2000年12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(1995-96, 99-2000).

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(1998.11-99.10).

##### 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

京都大学大学院理学研究科併任助教授, 1997年4月1日-.

#### 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。たとえば、半導体表面がレーザー光によってバンドの曲がりが生じるなどの光誘起現象の時間分解測定に成功した。また、2光子内殻分光や光増幅などの実験を行った。さらに、短パルスレーザーの整備によって、新型高分解能分光器と光電子分光装置の組み合わせによる、半導体表面の電荷移動についての研究が進んでいる。今後は、光電子顕微鏡とレーザーシステムの組み合わせによる、光誘起現象の放射光利用研究を軸に研究展開を行う。

## 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) 配向分子からのオージェ電子角度分布測定( 繁政 )
- c) 高性能斜入射分光器の開発
- d) 二次元画像法を用いた高効率同時計測装置の開発( 下條助手 )

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 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 ( $1\Sigma \{(5s)^{-1}(4s)^{-1}\}$ ) 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、 $\sigma^*$ 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、光エネルギーを変えてゆくと、1) どちらの遷移後でも、PCI( Post Collision Interaction )効果の大きなイオン化しきい値近傍で、最も豊富な構造の角度分布を示す。2) しきい値から約100 eV上になると、どちらの遷移後でも複雑な構造が無くなり、等方的な角度分布に近づく。ことが明らかになった。これらの観測結果は、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、PCI効果が大きな領域では破綻していることを示唆している。
- b) 内殻励起分子の解離ダイナミクスの詳細の解明のためには、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。現在光焼きだし等の立ち上げ作業を行っている。
- c) 内殻励起状態の崩壊ダイナミクスは、分子解離とオージェ電子放出との競争過程であるという間接的な証拠が二次応答スペクトルの解析から得られている。しかし、反結合性の強弱と競争過程の関係や内殻電離状態の場合はどう変わるのかなど、内殻正孔状態に起因する解離ダイナミクスではまだまだ不明な点が多い。これは、原子核の変位に対しては、より敏感で直接的情報が得られるはずの解離イオンのベクトル相関測定や、電子とイオンのベクトル相関測定から解離ダイナミクスを議論出来ていない事に起因すると思われる。我々は、解離イオン種間のベクトル相関測定の実現を目指して、新しい計測システムの開発を行っている。二次元検出器の導入は急務であり、本格的導入に向けたテスト実験を行っている。( 下條助手 )

B-1) 学術論文

**T. HAYAISHI, Y. FUJITA, M. IZUMISAWA, T. TANAKA, E. MURAKAMI, E. SHIGEMASA, A. YAGISHITA and Y. MORIOKA**, "Multi-step post-collision interaction effects in K-shell photoionization of Kr," *J. Phys. B* **33**, 37 (2000).

**A. EHRESMANN, S. MACHIDA, M. KITAJIMA, M. UKAI, K. KAMETA, N. KOUCHI, Y. HATANO, E. SHIGEMASA and T. HAYAISHI**, "Dissociative single and double photoionization with excitation between 37 and 69 eV in N<sub>2</sub>," *J. Phys. B* **33**, 473 (2000).

**R. GUILLEMIN, E. SHIGEMASA, K. LE GUEN, D. CEOLIN, C. MIRON, N. LECLERCQ, K. UEDA, P. MORIN and M. SIMON**, “New setup for angular distribution measurements of Auger electrons from fixed in space molecules,” *Rev. Sci. Instrum.* **71**, 4387 (2000).

B-6) 学会および社会的活動

学会の組織委員

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-)(下條助手)

C) 研究活動の課題と展望

他施設での研究とは異なる独自性を出すために、我々は内殻励起状態の寿命幅以下の光分解能により実現される共鳴×線散乱過程における内殻励起状態の崩壊ダイナミクスを詳細に研究する事を目指す。このような実験条件下では、多原子分子でもある程度振動モードを選択励起することが可能であり、共鳴オージェ電子と生成イオンとの同時計測により、内殻励起後の解離過程における原子移動、分子振動あるいは分子変形と結合切断との関係の詳細を解明出来ると考えている。また、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、そのダイナミクスの詳細の解明を目指した研究を展開して行きたい。これらの研究をUVSORで実現するためには、高性能分光器の建設と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、このような大型装置の開発・立ち上げにはかなりの時間が必要なので、UVSORに既存の設備を活用した予備的な実験を中心に、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。

## 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
- 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光源リングの高性能化を目指してビームオプティクス再検討を行った。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。ビーム収束用多極電磁石の設計を行い、性能評価のための試作を開始した。また数100 eV領域での高輝度光生成のための真空封止型短周期アンジュレータの開発を開始した。現在磁極部の設計を完了し製作を進めている。
- 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250 mW(可視域)まで出力を高めることに成功した。またレーザー光を放射光ビームラインに輸送し、実験ステーションで放射光パルスとの完全な同期をとることに成功した。
- c) 従来の放射光パルスは1000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行っている。

B-1) 学術論文

**M. HOSAKA, S. KODA, J. YAMAZAKI and H. HAMA**, "Temporal Stability of the UVSOR FEL micropulse," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* **445**, 208 (2000).

B-6) 学会および社会的活動

学会誌編集委員

日本放射光学会誌編集委員(2000.11-).

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、挿入光源類など、必要な加速器要素の設計開発を進めており、順次性能評価を実施していく。自由電子レーザーに関しては、当面、実用化に向けた技術開発を行っていくが、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準備を開始している。

\* 2000年3月1日着任