

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における内殻励起子の役割を明らかにするために，共鳴光電子分光を行い，減衰確率を求めると行った。
- b) 結晶を光励起すると，表面から構成原子が脱離したり，結晶構造が変化したりすることがある。この光誘起の原子移動や光誘起相転移などの現象を研究している。たとえば，イオン結晶表面を励起すると表面からアルカリ原子が脱離する。その時間応答をレーザー誘起蛍光法で測定した結果，電子遷移誘起の過程が起こっていることが明らかになった。また，スピנק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見出された。
- 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，Cs や酸素を共吸着させた GaAs について光電子分光を行い，負の電子親和力表面の形成過程を明らかにした。また，光誘起起電力の測定に成功した。
- 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，分光器の開発などを行っている。たとえば，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。

B-1) 学術論文

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**, 8442-8445 (1999).

M. SANO, Y. SEIMIYA, Y. OHNO, T. MATSUSHIMA, S. TANAKA and M. KAMADA, "Orientation of oxygen admolecules on a stepped platinum(133) surface," *Surf. Sci.* **421**, 386-390 (1999).

N. SANADA, S. MOCHIZUKI, S. ICHIKAWA, N. UTSUMI, M. SHIMOMURA, G. KANEDA, A. TAKEUCHI, Y. SUZUKI, Y. FUKUDA, S. TANAKA and M. KAMADA, "The (2×4) and (2×1) structures of the clean GaP(001) surface," *Surf. Sci.* **419**, 120-127 (1999).

M. KOBAYASHI, T. NAMBA, M. KAMADA and S. ENDO, "Proton order-disorder transition of ice investigated by far-infrared spectroscopy under high pressure," *J. Phys.: Condens. Matter* **10**, 11551-11555 (1998).

K. OHTANI, H. DOSHITA, M. KOHAMA, Y. TAKAMINE, K. ASAO, S. TANAKA, M. KAMADA and A. NAMIKI, "Physisorption lifetimes of Cl₂ on the Si(100) surfaces adsorbed with Cs and Cl," *Surf. Sci.* **414**, 85-92 (1998).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

I. OUCHI, I. NAKAI, M. KAMADA, S. TANAKA, T. GEJO and T. HAGIWARA, "Structure and Core Electron Absorption Spectra of Polyester Films," *Jpn. J. Appl. Phys.* **38**, 183-186 (1999).

M. KAMADA, N. TAKAHASHI and S. HIROSE, "Nanosecond desorption of alkali fluorides excited by synchrotron radiation pulses," *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **101/103**, 599-602 (1999).

N. KIDA, N. OHNO, K. DEGUCHI and M. KAMADA, "VUV optical spectra of hydrogen-bonded ferroelectrics PbHPO₄ and PbHAsO₄," *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **101/103**, 603-606 (1999).

B-4) 招待講演

鎌田雅夫, 「放射光を用いた新しい物質科学」, 原子分子レベルのキャラクタリゼーションシンポジウム, 大阪電通大学エレクトロニクス基礎研究所, 1999年3月.

鎌田雅夫, 「放射光とレーザーの組み合わせによる固体表面の研究」, 放射光産業利用技術懇談会第22回講演会, 立命館大学, 1999年4月.

鎌田雅夫, 「放射光利用光電子分光法による半導体表面研究」, 表面分析講演会, 1999年6月.

鎌田雅夫, 「アンジュレーターとレーザーの組み合わせ実験への期待」, 物性研アンジュレーター検討会, 東大物性研, 1999年7月.

鎌田雅夫, 「半導体表面における光誘起現象 高輝度光源への期待」, 日本物理学会領域9シンポジウム, 岩手大学, 1999年9月.

鎌田雅夫, 「放射光とレーザーの組み合わせ実験」, 物性研研究会「先端分光物性研究の現状と将来展望」, 1999年10月.

鎌田雅夫, 「レーザーと高輝度軟X線を組み合わせた研究」, SPring-8研究会「30m軟X線アンジュレータ利用固体物理学研究の展望」, SPring-8, 1999年12月.

鎌田雅夫, 「放射光とレーザーの組み合わせによる表面研究」, 第5回X線結像光学シンポジウム, 名古屋国際会議場, 1999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, 1999-).

日本放射光学会渉外幹事(1999-).

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).

学術雑誌編集委員

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-).

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測定に成功した。また, 光エネルギー蓄積物質の光物性や2光子内殻分光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, 一層強力なレーザーシステムを導入し, 光誘起現象の放射光利用研究を軸に研究展開を行う。

濱 広 幸 (助 教 授) *)

A-1) 専門領域：加速器物理学，ビーム物理学、原子核物理学

A-2) 研究課題：

- a) 加速器を用いた光源の研究
- b) 自由電子レーザー
- c) 非線形ビーム運動学の研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 電子蓄積リングの挿入光源の非線形磁場の解析と，それが電子ビームに与える影響の理論的考察を行い，実際にUVSOR蓄積リングに設置されている円偏光アンジュレータがビームに及ぼす収束力を精度良く説明することに成功した。
- b) 電子蓄積リングを用いた自由電子レーザーにおける飽和レーザー出力を解析的に導き，実験値と良い一致を得た。また負の運動量収縮因子を持つ蓄積リングを用いた自由電子レーザー相互作用を数値シミュレーションし，その特性評価を行った。また，電子ビームと自由電子レーザーの時間ずれを両者の高調波スペクトルの位相差を検出して，これをフィードバックすることにより自由電子レーザー発振の安定性を保つ制御システムを開発した。
- c) 電子蓄積リングに現われる非線形なエネルギー分散関数を測定し，解析的に導出されたそれと良く一致することを見い出した。これによって蓄積リングに多重極のガイド磁場を持ち込むことにより非線形エネルギー分散関数を変化させ電子パンチの縦方向長さを極端に短く制御する可能性を開いた。

B-1) 学術論文

H. HAMA and M. HOSAKA, “Longitudinal Beam Dynamics and FEL Interaction on a Negative Momentum Compaction Storage Ring,” *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* **429**, 172-178 (1999).

M. HOSAKA, J. YAZAMAKI and H. HAMA, “Influences of Electron Beam Properties on Spontaneous Radiation from an Optical Klystron,” *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* **429**, 191-196 (1999).

H. TANAKA, M. TAKAO, K. SOUTOME, H. HAMA and M. HOSAKA, “A Perturbative Formulation of Nonlinear Dispersion for Particle Motion in Storage Rings,” *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* **432**, 396-408 (1999).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

M. HOSAKA, J. YAMAZAKI, T. KINOSHITA and H. HAMA, “Longitudinal Beam Dynamics on an Electron Storage Ring with Negative Momentum Compaction Factor,” *Proceedings of the 1st Asian Particle Accelerator Conference* 426-428 (1998).

H. HAMA, M. HOSAKA, H. TANAKA and J. YAMAZAKI, “Consideration for an FEL-Optimized Electron Storage Ring,” *Proceedings of the 1st Asian Particle Accelerator Conference* 728-730 (1998).

B-6) 学会および社会的活動

学協会役員、委員

超先端電子技術開発機構ニューズバル調査委員(1999).

兵庫県ニューズバル技術検討委員(1999).

日本原子力学会先端的自由電子レーザー研究専門委員(1999-).

Executive Committee of International Free Electron Laser Conference (1998-).

学会の組織委員

Local Organizing Committee of the 1st Asian Particle Accelerator Conference.

ビーム物理研究会幹事会委員 .

加速器科学研究発表会組織委員 .

C) 研究活動の課題と展望

蓄積リングにおける電子ビームと自由電子レーザーの相互作用がもたらす非線形な電子の運動の理解が深まってきた。しかしながらその挙動は非常に複雑であり、加速器中での電子ビームの特性を自由電子レーザーに最も適したものにするための制御は困難なものと言える。電子ビームのエネルギー分布関数を明確にすることと、それによる位相空間での非線形運動を明確にし、いかに蓄積リングのガイド磁場を構築するかが今後の課題となっている。従来の高輝度光源を目指した放射光リングとは異なったアプローチで加速器設計の最適化を図って行かなければならない。また自由電子レーザー相互作用によって形成したマイクロバンチを崩さずコヒーレントな高調波放射光を発生させることなどの応用を考えても、高次エネルギー分散関数の正確な評価は非常に重要で、そのための基礎的な実験及び理論の進展を急がなくてはならないと考える。

*) 1999年9月1日東北大学大学院理学研究科助教授

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) 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) オージェ終状態と解離イオンの相関、特に内殻電子の局在性により、ある原子サイトの内殻電子を選択的に電離した後に期待される選択的な結合の切断の原因を直接検証することは興味深いテーマである。この本質的な原因は何かを探るために、 $(\text{CH}_3)_6\text{Si}_2\text{O}$ 分子を対象として Si2p-VV, C1s-VV オージェ電子と解離イオンの相関を観測した。サイト選択的な結合の切断が起こるためには、オージェ終状態に於ける二正孔が切断される結合に局在化し、しかも振動緩和を通じてエネルギーが再配分される前に速やかに解離する必要があると考えられる。測定結果から、価電子二正孔状態の内、最もエネルギーの小さい状態を選んだ場合、内殻電離サイトに依存した解離の選択性が最も高くなり、それ以外の電子状態では明確なサイト選択性が見られない事が判明した。さらに、高分解能電子分光のデータから、内殻電離サイトに依存した二価イオン状態が最低束縛エネルギー領域に形成される事が、サイト選択性の原因であると結論付けられた。
- b) 観測される二次応答スペクトルの高分解能化及び理論計算の進歩により、共鳴オージェ電子放出過程については、共鳴励起と脱励起過程とを分離して記述できないという認識が広まった。一方、通常のオージェ電子放出過程の場合には、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と考えられてきた。ところが、CO 分子の炭素 1s 電離領域において、配向分子からのオージェ電子の角度分布を測定したところ、炭素 1s 電子が 対称性の波として分子を離れる場合と 対称性の場合とはオージェ電子の角度分布が全く異なる結果が得られた。内殻電子のイオン化しきい値近傍で光のエネルギー (つまり光電子の運動エネルギー) を変化させると、光電子とオージェ電子の運動エネルギーとスペクトルプロファイルが変化する事は PCI (Post Collision Interaction 効果として知られているが、角度分布の中でその影響らしきものを捉えたのは世界初である。このことは、通常のオージェ電子放出過程もまた完全に独立した二段階過程ではない事を示唆しているものと思われる。
- c) 近年のシンクロトロン放射光に関連する分光技術の進歩は目覚ましく、通常の偏向電磁石部からの放射光でも、炭素、窒素、酸素を含む分子の内殻励起状態の振動分光が比較的容易に行える、いわゆる高分解能斜入射分光器が世界各地の放射光施設で次々と建設されている。しかし残念ながら、現在の UVSOR には、200 eV を越える領域でこの種の実験を可能にする高性能斜入射分光器が存在しない。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 以上を達成するように、不等刻線平面回折格子を用いた分光器のデザインを行った。
- d) 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

A. A. PAVLYCHEV, N. G. FOMINYKH, N. WATANABE, K. SOEJIMA, E. SHIGEMASA and A. YAGISHITA, “Dynamic Properties of N and O $1s^{-1} \sigma_u^*$ Shape Resonances in N_2 and CO_2 Molecules,” *Phys. Rev. Lett.* **81**, 3623-3626 (1998).

T. HAYAISHI, T. TANAKA, H. YOSHII, E. MURAKAMI, E. SHIGEMASA, A. YAGISHITA, F. KOIKE and Y. MORIOKA, “Post-collision interaction effects of threshold photoelectrons in Kr L_3 -shell photoionization,” *J. Phys. B* **32**, 1507-1513 (1999).

J. ADACHI, N. KOSUGI, E. SHIGEMASA and A. YAGISHITA, “Vibronic coupling and valence mixing in the $1s \rightarrow$ Rydberg excited states of C_2H_2 in comparison with N_2 and CO ,” *Chem. Phys. Lett.* **294**, 427-433 (1999).

E. MURAKAMI, T. HAYAISHI, Y. LU, Y. MORIOKA, F. KOIKE, E. SHIGEMASA and A. YAGISHITA, “Post-collision interaction effects induced by Auger cascades following Xe L_1 -shell photoionization,” *J. Electron Spectrosc.* **101-103**, 167-171 (1999).

T. GEJO, K. OKADA, T. IBUKI and N. SAITO, “Photodissociation of Ozone in the K-edge Region,” *J. Phys. Chem. A* **103**, 4598-4601 (1999).

B-4) 招待講演

E. SHIGEMASA, “Photoelectron Angular Distributions from Oriented Molecules,” LURE, Orsay (France), January 1999.

E. SHIGEMASA, “Angular Distributions of Photoelectrons from Fixed-in-space Molecules as a Probe of Shape Resonances,” University of Freiburg, Freiburg (Germany), February 1999.

繁政英治, 「配向した分子からのオージェ電子の角度分布」, 日本物理学会 1999 年秋の分科会, 盛岡, 1999 年 9 月.

B-6) 学会および社会的活動

学会の組織委員

繁政英治, 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および実行委員(1999-).

学会誌編集委員

下條竜夫, 日本放射光学会誌編集委員(1999-).

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。

*) 1999年5月1日着任