

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) イオン結晶表面における光スパッタリング過程の研究
- c) 半導体表面における吸着・結合状態の研究
- d) 放射光科学のための新しい測定方法の開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 固体の内殻励起状態とその減衰過程の研究：固体の内殻励起状態は、輻射過程、光電子放出、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れらに含まれる物性情報との関係などを解明することを目的として、研究をおこなっている。
たとえば、バンドギャップの大きな物質においては、内殻励起状態がオージェ過程を生じないで輻射減衰するものがある。Ba ハライドや Cs ハライドについて、光電子分光と発光分光の同時測定により、その遷移の帰属を確認し、電子格子相互作用による効果が大きいことを明らかにした。
- b) イオン結晶表面における光スパッタリング過程の研究：結晶表面を電子線や光で励起すると、表面で光反応が生じたり、欠陥が生成されたり、構成原子が放出したりする。これらの機構を解明することを目指して研究をおこなっている。たとえば、アルカリハライドの構成原子の放出について、光脱離過程の応答時間をシンクロトロン放射光のパルス特性を利用して、初めて測定することに成功し、放出過程がナノ秒の早いものと、サブミリ秒の遅いものの、2種類存在していることを明らかにした。
また、レーザーと放射光の同期を取り、レーザー誘起蛍光法により脱離原子の測定ならびに脱離の時間応答性に成功し、基底状態原子のナノ秒の脱離を初めて見出した。
- c) 半導体表面における吸着、結合状態の研究：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、表面での光反応に関係している。そこで、清浄および吸着した表面における電子状態の研究を行っている。
たとえば、電子放出材としての負の電子親和力表面をもつ O₂/Cs/GaAs について、共吸着状態の研究を行い、2段階の過程で負の電子親和力表面が形成されることを見出した。
また、低温での高分解能光電子分光装置を立ち上げ、半導体表面上の分子吸着状態を調べるとともに、光電子とイオンの同時計測により、内殻励起に伴うイオン脱離機構を解明した。
- d) 新しい測定方法の開発：放射光を利用した研究を行う上で、測定装置の開発は不可欠であるとの認識の基に、角度分解光電子エネルギー分析器を完成させ、それに取付けるスピン検出器を開発した。また、シンクロトロン放射光を分光する新型分光器を建設し、円偏光を発生させるアンジュレーターも建設した。これらが、接続した暁には、円偏光が真空紫外領域で利用することが可能になり、電子のスピン状態に依存した状態分析や光反応の研

究ができるものと期待している。

また、レーザーと放射光の組み合わせによる2光子実験をBaF₂結晶で成功させ、励起状態の構造の詳細を明らかにした。

B-1) 学術論文

M. ITOH, M. KAMADA and N. OHNO, "Temperature Dependence of Auger-Free Luminescence in Alkali and Alkaline-Earth Halides," *J. Phys. Soc. Jpn.* **66**, 2502-2512 (1997).

E. FELDBACH, M. KAMADA, M. KIRM, A. LUSHCHIK, CH. LUSHCHIK and I. MARTINSON, "Direct excitation of Tl⁺ impurity ions by hot photoelectrons in wide-gap crystals," *Phys. Rev. B* **56**, 13908-13915 (1997).

N. TAKAHASHI, S. TANAKA, M. ICHIKAWA, Y. Q. CAI and M. KAMADA, "Photoelectron spectroscopic study of coadsorbed states of Cs and O on GaAs(100)," *J. Phys. Soc. Jpn.* **66**, 2798-2804 (1997).

K. MASE, M. NAGASONO, S. TANAKA, M. KAMADA, T. URISU and Y. MURATA, "Development of electron-ion coincidence spectroscopy for the study of surface dynamics combined with synchrotron radiation," *Rev. Sci. Instrum.* **68**, 1703-1707 (1997).

J.-W. KIM, S. KIM, J.-M. SEO, S. TANAKA and M. KAMADA, "Surface core-level shift of InSb(111)-2×2," *Phys. Rev. B* **54**, 4476-4480 (1996).

J.-W. KIM, S. KIM, J.-M. SEO, S. TANAKA and M. KAMADA, "Angle-resolved photoemission of InSb(111)-2×2," *J. Phys. Condensed Matter* **8**, 4189-4193 (1996)

N. TAKAHASHI, S. TANAKA, M. ICHIKAWA, S. OHARA, Y. FUJII, K. NAKANISHI and M. KAMADA, "Construction of a compact spin- and angle-resolved photoelectron spectrometer," *J. Jpn. Appl. Phys.* **35**, 6314-6321 (1996).

S. ASAKA, S. NAKANISHI, H. ITOH, M. KAMADA, M. WATANABE, O. ARIMOTO, S. FUJIWARA, T. TSUJIBAYASHI and M. ITOH, "Time-gated photon counting method for two-photon spectroscopy using synchrotron radiation and laser," *Rev. Sci. Instrum.* **69**, 1931-1933 (1998).

M. ITOH, T. SHIOKAWA, K. SAWADA and M. KAMADA, "Ultraviolet Photoemission Studies of Valence Bands in Lead Halides," *J. Phys. Soc. Jpn.* **67**, 2140-2141 (1998).

M. ITOH, M. KAMADA and N. OHNO, "Temperature Dependence of Auger-Free Luminescence in Alkali and Alkaline-Earth Halides," *J. Phys. Soc. Jpn.* **66**, 2502-2512 (1997).

E. FELDBACH, M. KAMADA, M. KIRM, A. LUSHCHIK, CH. LUSHCHIK and I. MARTINSON, "Direct excitation of Tl⁺ impurity ions by hot photoelectrons in wide-gap crystals," *Phys. Rev. B* **56**, 13908-13915 (1997).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

M. ITOH, K. SAWADA, H. HARA, N. OHNO and M. KAMADA, "Phonon broadening of line widths of Auger-free luminescence in wide-gap ionic crystals," *J. Luminescence* **72-74**, 762-764 (1997).

M. KAMADA and S. HIROSE, "Laser-Induced Fluorescence Study of Fast Desorption of Ground-State K Atoms from Potassium Halides Excited by Synchrotron Radiation," *Surface Science* **390**, 194-198 (1997).

S. TANAKA, K. MASE, M. NAGASONO and M. KAMADA, "Desorption of H ions from water chemisorbed on Si(100) by O 1s excitation — an Auger electron-photoion coincidence spectroscopy study," *Surface Science* **390**, 204-208 (1997).

- S. HIROSE and M. KAMADA**, "Time and Temperature Dependence of Photo-Stimulated Desorption of Alkali Atoms from Alkali Halides," *J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **92**, 109-113 (1998).
- S. TANAKA, M. MASE, M. NAGASONO and M. KAMADA**, "Study of ion desorption induced by the core-level excitation on the CaF₂(111) surface," *J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **92**, 119-122 (1998).
- O. ARIMOTO, S. FUJIWARA, T. TSUJIBAYASHI, M. WATANABE, M. ITOH, S. NAKANISHI, H. ITOH, S. ASAKA and M. KAMADA**, "Combinational Use of Synchrotron Radiation and Laser for Two-Photon Spectroscopy of BaF₂," *J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **72**, 219-223 (1998).
- M. SAKURAI, H. OKAMOTO, M. WATANABE, T. NAMBA, S. KIMURA and M. KAMADA**, "Upgraded IR beamline at UVSOR," *J. Synchrotron Radiation* **5**, 578-580 (1998).
- M. KAMADA, H. HAMA, T. KINOSHITA and N. KOSUGI**, "Present status of the UVSOR facility -1997-," *J. Synchrotron Radiation* **5**, 1166-1169 (1998).
- M. KAMADA, M. HASUMOTO, N. MIZUTANI, T. HORIGOME, S. KIMURA, S. TANAKA, K. FUKUI and K. SAKAI**, "Construction and performance test of SGM-TRAIN at UVSOR," *J. Synchrotron Radiation* **5**, 766-768 (1998).
- S. NAKANISHI, H. ITOH, T. FUJI, T. KASHIWAGI, N. TSURUMACHI, M. FURUICHI, H. NAKATSUKA and M. KAMADA**, "Application of SR to ultrafast spectroscopy," *J. Synchrotron Radiation* **5**, 1072-1074 (1998).
- M. KAMADA, S. HIROSE, S. ASAKA, T. TSUJIBAYASHI, M. WATANABE, O. ARIMOTO, S. FUJIWARA, H. ITOH, S. NAKANISHI and M. ITOH**, "Combined systems of SR and Laser for solid-state researches," *J. Synchrotron Radiation* **5**, 1035-1037 (1998).
- S. KIMURA, M. KAMADA, H. HAMA, K. KIMURA, M. HOSAKA, J. YAMAZAKI, X. MARECHAL, T. TANAKA and H. KITAMURA**, "Performance of a helical undulator of UVSOR," *J. Synchrotron Radiation* **5**, 453-455 (1998).
- S. TANAKA and M. KAMADA**, "Observation of the Surface States on the CuCl(100) Surface," *J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **88-91**, 689-693 (1998).
- M. KAMADA, Y. Q. CAI, N. TAKAHASHI, S. TANAKA and D. A. WOOLF**, "Circular Dichroism in Angular Distribution of Core-Level Photoelectrons from GaAs(111)," *J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **88-91**, 219-223 (1998).
- J. YOSHINOBU, M. KAWAI, S. TANAKA, K. WATANABE, Y. MATSUMOTO and M. KAMADA**, "Electronic Structure in the Valence Region of Chemisorbed and Physisorbed Species on Pd(110)," *J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **88-91**, 665-669 (1998).
- M. KAMADA, S. FUJIWARA, O. ARIMOTO, Y. FUJII and S. TANAKA**, "Simultaneous Measurements of Photoelectron and Luminescence of Barium Halides," *J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **88-91**, 297-301 (1998).
- J. YOSHINOBU, M. KAWAI, I. IMAMURA, F. MARUMO, R. SUZUKI, H. OZAKI, M. AOKI, S. MASUDA, S. TANAKA, M. KAMADA and M. AIDA**, "Electronic Structure Near the Fermi Level and STM Images of the Pd(110)_c(4×2)-Benzene Surface," *J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **88-91**, 997-1002 (1998).
- M. A. TEREKHIN, N. YU. SVECHNIKOV, S. TANAKA, S. HIROSE and M. KAMADA**, "High-density effects due to interaction of self-trapped exciton with (Ba,5p) core hole in BaF₂ at low temperature," *Low Temp. Phys.* **23**, 349-350 (1997).
- I. AKIMOTO, K. KAN'NO, M. SHIRAI, F. OKINO, H. TOUHARA, M. KAMADA and V. G. STANKEVITCH**, "Photoluminescence from fluorinated fullerene C₆₀F_x (x < 48) thin films," *J. Luminescence* **72**, 503-504 (1997).
- M. KAMADA and S. HIROSE**, "Laser-Induced Fluorescence Study of Fast Desorption of Ground-State K Atoms from

Potassium Halides Excited by Synchrotron Radiation," *Surface Science* **390**, 194-198 (1997).

S. TANAKA, K. MASE, M. NAGASONO and M. KAMADA, "Desorption of H ions from water chemisorbed on Si(100) by O 1s excitation — an Auger electron-photoion coincidence spectroscopy study," *Surface Science* **390**, 204-208 (1997).

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(1995.4-1996.12).

日本物理学会イオン結晶光物性分科世話人(1998.11-).

学術雑誌編集委員

Synchrotron Radiation News, Correspondent (1993.4-).

B-7) 他大学での講義、客員

宮崎大学工学部, 「X線光学」, 1997年1月7日 - 10日.

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り, 短パルスレーザー関係の整備を行った。また, レーザーによる光誘起現象の放射光プローブ光電子分光に成功した。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, 光電子とイオンのコインシデンス分光を用いた表面からの脱離ダイナミックスの研究も順調に進行した。また, 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実験が漸く可能になり, 半導体表面の電荷移動についての研究を進行中である。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、原子核物理

A-2) 研究課題：

- a) 加速器を用いた可干渉光生成の研究
- b) 円形加速器における非線形ビームダイナミクスの研究
- c) 高エネルギー 線をを用いた元素生成過程の研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 電子蓄積リングに基づく自由電子レーザー (FEL) の実験的基礎研究において、円偏光アンジュレータを用いたオプティカルクライストロンを考案し、これを用いて紫外域の FEL 実験を行ない、世界で最も短波長 (240 nm) のレーザー発振に成功した。
- b) 円形加速器を周回する電子バンチが真空ダクトなどの環境にあるインピーダンスと相互作用してその縦方向形状を変化させる様子を種々の条件下で精度良く調べ、非線形な振る舞いを定量的に理論計算と比較した。
- c) 自由電子レーザーを利用して、共振器内での光子と電子の衝突による非常に強度の強い 線発生を実験的に調べた。この 線の高強度・単色性を利用し、これまで測定が困難といわれた微小反応断面積の光子 - 核反応を調べる可能性を開いた。

C) 研究活動の課題と展望

次世代の光源といわれて久しい自由電子レーザーであるが、紫外あるいは真空紫外の短波長領域においては、困難な状況にある。UVSOR - FELでこれまで行なってきた短波長化にいったん区切りをつけ、FELの制御および性能の向上のため、加速器物理や光学などの多方面からのアプローチを行ない、またFELに最適化されうる電子蓄積リングのデザインを進める。加えてFELの応用の観点から、He 燃焼による元素生成過程で重要な軽い核の (,) 反応における共鳴状態の断面積を、FEL共振器内での逆コンプトン散乱で生成する高エネルギー 線を用いて測定する実験の可能性を探る。

木下豊彦(助教授)*)

A-1) 専門領域：放射光物性、表面物性

A-2) 研究課題：

- a) 放射光を用いた光電子分光実験
- b) 放射光を用いた光電子顕微分光実験
- c) 真空紫外光用高分解能分光器の建設
- d) UVSOR 軟 X 線ビームラインの改造

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a-1) 磁気線 2 色性の光電子分光における観察や, スピン偏極光電子分光などを行っている。内殻電子の 2 色性や, スピン偏極度の角度依存性については, atomic なモデルでは説明がつかず, 固体構造による光電子の回折効果を考えることが重要であることを示した。
- a-2) 重希土類化合物の電子状態を赤外分光, 共鳴光電子分光などの手法を用いて調べた。他の放射光施設では行うことの難しい, 重希土類化合物の 3d-4f 共鳴光電子分光なども, 高性能電子分析器を用いて研究を行っている。4f 電子状態のみならず, 内殻状態の測定も行って, 理論との比較検討から正孔 - 電子相互作用に関する情報を得た。
- a-3) ペロブスカイト構造を持つ遷移金属酸化物 SrTiO₃(111)の電子状態および表面構造を光電子分光, 低速電子線回折を用いて調べた。800 K で加熱した表面に対して金属的なフェルミ端を観測したのに対し, 1200 K で加熱した表面に対しては, フェルミ端が消失することを観測した。これらの加熱温度による差違は表面構造の違いに関係していることを示し, (110)面との類似性から電子状態と表面構造の関係について議論した。
- a-4) フェルミ面等の詳細な電子状態の解明のために, 低温に冷却可能で高エネルギー分解能を持つ角度走査光電子分光装置の開発を行った。この装置の開発に必要な要点を述べ, 一例として, 高温超伝導体 Bi_{2.1}Sr_{1.9}CaCu₂O_{8+d}のフェルミ面のマッピングやフェルミ準位近傍のバンド構造について議論した。
- b) 放射光を用いた光電子顕微分光実験：光電子顕微鏡は, 位置分解能も兼ね備えた光電子分光法である。位置分解能は, STM や SEM などの電子顕微鏡にはおとるが, 電子のエネルギー分析も同時に行うことによって, 原子種や, 電子状態を特定したイメージがえられることが特色である。さらに, 放射光の光エネルギー可変性や, 偏光特性を組みあわせることによって, いろいろと興味深い研究が可能となる。磁性薄膜の研究の他, 鹿野田グループと共同で微小有機伝導体の一つである(DI-DCNQI)₂-M (M = Ag, Cu)の研究を行った。また, 現在は薬師グループと共同で, 同じく微小な結晶である (DMTSA-BF₄)の研究を行っている。
- c) 真空紫外光用高分解能分光器の建設：UVSOR の BL7B に設置されていた瀬谷 - 波岡型分光器は, 300 ~ 6000 Å の領域で固体分光の実験に利用されてきたが, 近年のこの分野の測定の進歩は著しく, 世界的な競争力を高めて行くためには, 新しい高性能の分光器の導入が必要となってきた。われわれは, 福井大学, 神戸大学のグループと協力し, 直入射型の高分解能分光器の建設を行った。500 ~ 10000 Å の波長範囲をカバーし, 通常分光実験のみならず, 磁場中分光, レーザーとの同期分光など, さまざまな分野で成果を上げることが期待されている。1999 年度より共同利用に公開される予定である。
- d) UVSOR 軟 X 線ビームラインの改造：UVSOR の BL7A に設置されている 2 結晶軟 X 線分光器は 1.7 keV 以下の

領域で分光実験が行える世界でも貴重なビームラインである。(他の施設では熱負荷や放射線損傷などのため、この領域をカバーできる結晶がダメージを受けやすい。)一方、このビームラインでは挿入光源の一つである4テスラウィグラーの利用により、高エネルギー領域の光の利用も可能となっている。しかし、ウィグラー光利用の際には、低エネルギー用の分光結晶はダメージを受けやすいために偏向電磁石からの光を利用するべくビームラインを動かす作業が必要となっている。この作業は労力と時間を必要とし、ビームラインの性能を發揮できないままユーザータイムに供せざるを得ないような状況も生じている。また、ユーザーからは光を鏡によって集光することによりより小さいサンプルに対する実験を行いたい旨の要求も出てきている。集光を行うことにより、これまでは不可能であった光電子分光実験も可能になることが期待できる。われわれは所外ユーザーの協力もあおぎ、これらの要求を満たすようなビームラインの改造計画をスタートさせた。その一つは2keV以下の分光結晶であり、放射線損傷の少ないYB₆₆の利用である。スタンフォードの施設についてこの分光結晶による分光実験に成功した。1997 - 98年度には集光と高エネルギー光をカットするフィルター作用を兼ね備えたミラーシステムをビームラインに導入し、その調整を進めている。

B-1) 学術論文

H. B. ROSE, T. KINOSHITA, Ch. ROTH, F. U. HILLEBRECHT and E. KISKER, "Influence of Photoelectron Diffraction on Magnetic Linear Dichroism," *Surf. Rev. Lett.* **4**, 915-918 (1997).

Ch. ROTH, T. KINOSHITA, H.B. ROSE, F. U. HILLEBRECHT and E. KISKER, "Diffraction of Spin-Polarized Cu 3p Photoelectrons," *Surf. Rev. Lett.* **4**, 911-914 (1997).

S. KIMURA, Y. UFUKTEPE, K. G. NATH, T. KINOSHITA, H. KUMIGASHIRA, T. TAKAHASHI, T. MATSUMURA, T. SUZUKI and H. OGASAWARA, "4d-4f and 3d-4f Resonant Photoemission of TmX (X = S, Se, Te)," *J. Magn. Magn. Mater.* **177-181**, 349-350 (1998).

K. G. NATH, Y. UFUKTEPE, S. KIMURA, T. KINOSHITA, H. KUMIGASHIRA, T. TAKAHASHI, T. MATSUMURA, T. SUZUKI, H. OGASAWARA and A. KOTANI, "4d Core Level Resonant Photoemission Spectroscopy of Tm Monochalcogenides around Tm 3d Threshold," *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **88-91**, 369-375 (1998).

T. KINOSHITA, Y. UFUKTEPE, K. G. NATH, S. KIMURA, H. KUMIGASHIRA, T. TAKAHASHI, T. MATSUMURA, T. SUZUKI, H. OGASAWARA and A. KOTANI, "Resonant Photoemission Studies of Thulium Monochalcogenides around the Tm 3d Threshold," *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **88-91**, 377-384 (1998).

Y. HARUYAMA, Y. AIURA, H. BANDO, Y. NISHIHARA, H. KATO, "Annealing Temperature Dependence on the Electronic Structure of the Reduced SrTiO₃ (111) Surface," *J. Electron Spectrosc. Related Phenom.* **88-91**, 695-699 (1998).

T. KINOSHITA, K. G. NATH, M. WATANABE, S. YAGI, S. KIMURA and A. FANELSA, "Photoelectron Spectromicroscopy Experiments at the UVSOR Facility," *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **921**, 165-169 (1998).

Y. UFUKTEPE, S. KIMURA, T. KINOSHITA, K. G. NATH, H. KUMIGASHIRA, T. TAKAHASHI, T. MATSUMURA, T. SUZUKI, H. OGASAWARA and A. KOTANI, "Resonant Photoemission Studies of Thulium Monochalcogenides around the Tm 4d Threshold," *J. Phys. Soc. Jpn.* **67**, 2018-2026 (1998).

T. KINOSHITA, Y. TAKATA, T. MATSUKAWA, H. ARITANI, S. MATSUO, T. YAMAMOTO, M. TAKAHASHI, H. YOSHIDA, T. YOSHIDA, K. G. NATH, Y. UFUKTEPE, S. KIMURA and Y. KITAJIMA, "Performance of YB₆₆ Soft X-ray Monochromator Crystal at the Wiggler Beamline of the UVSOR Facility," *J. Synchrotron Rad.* **5**, 726-728 (1998).

K. FUKUI, H. NAKAGAWA, I. SHIMOYAMA, K. NAKAGAWA, H. OKAMURA, T. NANBA, M. HASUMOTO and T. KINOSHITA, "Reconstruction of BL7B for UV, VIS and IR Spectroscopy with a 3m Normal Incidence Monochromator," *J. Synchrotron Rad.* **5**, 836-838 (1998).

M. KAMADA, H. HAMA, T. KINOSHITA and N. KOSUGI, "Present Status of the UVSOR Facility -1997-," *J. Synchrotron Rad.* **5**, 1166-1169 (1998).

B-3) 総説、著書

相浦義弘、阪東 寛、春山雄一、上野智行、西原美一、「角度走査光電子分光装置の開発」、*電子技術総合研究所彙報* **61**, 479-494 (1997).

B-6) 学会および社会的活動

学会の組織委員

14th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces, E-MRS Symposium on Magnetic Ultrathin Films, Multilayers and Surfaces, Local Organizing Committee (Düsseldorf, August 1994).

11th International Conference on Vacuum Ultraviolet Radiation Physics, Local Organizing Committee (Tokyo, August 1995).

第9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(副委員長)(1995-1996).

第10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、プログラム委員(1996-1997).

7th International Conference on Electron Spectroscopy, Local Committee (Chiba, September 1997).

C) 研究活動の課題と展望

昨年に引き続いてわれわれのグループでは固体、および固体表面の光電子分光実験を進めるとともに、新しい光電子顕微鏡装置を立ち上げ、それを使った研究をすすめている。光電子顕微鏡では昨年取り付けしたサンプル準備室や温度可変の測定を行うマニピュレーターやレーザーアニール装置を用いて、様々なサンプル、温度条件下での研究をすすめている。高性能のアナライザーの特徴を生かし、強磁性薄膜、微小サンプル(有機伝導体など)、1 keV-2 keV領域での共鳴光電子分光などの実験が進行中である。放射光の特性と上手に組み合わせた実験を行うことによって、様々な興味深い成果が得られることが期待される。マンパワーの不足という問題はありますが、外国人特別研究員や所内外のグループとの協力によって研究を行っている。

また、UVSOR 施設では現状のビームラインの再構築を行って、より高度な実験を行うことが必要となってきたが、その作業も進行中である。BL7Bの分光器を高性能直入射のものに置き換える作業はほぼ完了し、1999年度から共同利用にオープンされる。BL7Aの軟X線2結晶分光器では集光機能を備え付けたり、新しい分光結晶(YB₆₆)による分光を試みたりといった改造を進めており、性能の向上が認められた。今後、これらの改造ビームラインからの成果が上がってくることが期待される。

研究グループの各メンバーは、1999年度より国内の他の放射光施設に活動の拠点を移すことになるが、それぞれの場で放射光科学の発展に寄与したいと考えている。

*)1998年11月1日東京大学物性研究所助教授、分子科学研究所併任

木村真一(助手)*)

A-1) 専門領域: 固体物性、放射光科学

A-2) 研究課題

- a) 強相関伝導系の電子状態の光学的・光電的分光による研究
- b) 赤外磁気光学による磁気相転移の電子状態の研究
- c) 放射光挿入光源・赤外放射光ビームライン・真空紫外分光器の開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 強相関伝導系物質の電子状態の光学的・光電的分光による研究: 希土類化合物等の強相関伝導系と呼ばれている物質は、フェルミ準位近傍にキャリアと局在モーメントの相互作用により生じた電子状態が物性を支配している。この電子状態を明らかにすることを目的として、赤外から真空紫外領域にわたる広いエネルギー範囲での光学スペクトルと共鳴光電子分光を用いて、総合的な電子状態に関する知見を得ている。今年度は、昨年度に引き続き、温度及び磁場で価数転移をするEuNi₂(Si_{1-x}Ge_x)₂の電子状態を、光反射、共鳴光電子により調べ、電子状態の温度依存性の情報を得た。また、近藤半導体YbB₁₂とその希釈系Yb_{1-x}Lu_xB₁₂のエネルギーギャップの起源を含む電子状態を調べている。
- b) 赤外磁気光学による磁気相転移の電子状態の研究: 円偏光赤外放射光と超伝導マグネットを用いた赤外領域での高磁場下での磁気円偏光二色性測定装置を昨年度までに建設した。この装置を使うことによって、光のエネルギー範囲: 1 meV ~ 2 eV、温度範囲: 6 ~ 300 K、磁場範囲: 0 ~ 8 Tの各パラメータを3次元的に変え、円偏光放射光を使って、磁気モーメントを分離した分光測定が可能である。今年度から本格的な実験がスタートした。まず、セリウム・モノブニクタイト(CeX; X=P, As, Sb, Bi)の複雑な磁気構造の起源を明らかにすることを目的として、CeSbとCeBiについて各磁気相での光反射スペクトル及び磁気円偏光二色性を測定した。その結果、磁気相転移に伴って、非占有Ce5dバンドが大きく変化していることが明らかになった。
- c) 放射光挿入光源・赤外放射光ビームライン・真空紫外分光器の開発: 西播磨の大型放射光SPring-8に建設予定の赤外ビームラインの設計を行った。その際、水平方向の広い取り込み角を実現するため、magic mirrorの導入を検討している。また、次世代放射光の赤外・可視・紫外用の挿入光源として、偏光方向を変調した赤外円偏光ウイグラーを提案しており、来年度にプロトタイプを制作し、実験を行う計画である。

B-1) 学術論文

H. OKAMURA, S. KIMURA, H. SHINOZAKI, T. NANBA, F. IGA, N. SHIMIZU and T. TAKABATAKE, "Optical conductivity of the Kondo insulator YbB₁₂: Gap formation and low-energy excitations," *Phys. Rev. B* **58**, R7496 (1998).

Y. UFUKTEPE, S. KIMURA, T. KINOSHITA, K. G. NATH, H. KUMIGASHIRA, T. TAKAHASHI, T. MATSUMURA, T. SUZUKI, H. OGASAWARA and A. KOTANI, "Resonant photoemission studies of thulium monochalcogenides around the Tm 4d threshold," *J. Phys. Soc. Japan* **67**, 2018 (1998).

F. ARAI, S. KIMURA and M. IKEZAWA, "Resonant Photoemission Study of Electronic Structure of Rare-Earth Sesquioxides," *J. Phys. Soc. Japan* **67**, 225 (1996).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

- S. KIMURA, D. X. LI, Y. HAGA and T. SUZUKI, "Magnetic field dependence of low energy excitation of GdAs," *J. Magn. Magn. Mater.* **177-181**, 351 (1998).
- S. KIMURA, Y. UFUKTEPE, K. G. NATH, T. KINOSHITA, H. KUMIGASHIRA, T. TAKAHASHI, T. MATSUMURA, T. SUZUKI, H. OGASAWARA and A. KOTANI, "4d-4f and 3d-4f resonant photoemission of TmX (X = S, Se, Te)," *J. Magn. Magn. Mater.* **177-181**, 349 (1998).
- S. KIMURA, M. KAMADA, H. HAMA, K. KIMURA, M. HOSAKA, J. YAMAZAKI, X. MARECHAL, T. TANAKA and H. KITAMURA, "Performance of a helical undulator of the UVSOR," *J. Synchrotron Rad.* **5**, 453 (1998).
- T. KINOSHITA, Y. TAKATA, T. MATSUKAWA, H. ARITANI, S. MATSUO, T. YAMAMOTO, M. TAKAHASHI, H. YOSHIDA, T. YOSHIDA, Y. UFUKTEPE, K. G. NATH, S. KIMURA and Y. KITAJIMA, "Performance of the YB₆₆ soft x-ray monochromator crystal at the wiggler beamline of the UVSOR Facility," *J. Synchrotron Rad.* **5**, 726 (1998).
- A. HIRAYA, K. YOSHIDA, S. YAGI, M. TANIGUCHI, S. KIMURA, H. HAMA, T. TAKAYAMA and D. AMANO, "Undulators at HiSOR — a compact racetrack type ring," *J. Synchrotron Rad.* **5**, 445 (1998).
- M. SAKURAI, H. OKAMURA, M. WATANABE, T. NANBA, S. KIMURA and M. KAMADA, "Upgraded IR beamline at UVSOR," *J. Synchrotron Rad.* **5**, 578 (1998).
- M. KAMADA, M. HASUMOTO, N. MIZUTANI, T. HORIGOME, S. KIMURA, S. TANAKA, K. SAKAI and K. FUKUI, "Contraction and performance test of SGM-TRAIN at UVSOR," *J. Synchrotron Rad.* **5**, 766 (1998).
- T. KINOSHITA, K. G. NATH, Y. HARUYAMA, M. WATANABE, S. YAGI, S. KIMURA and A. FANELSA, "Photoelectron spectro-microscopy experiments at the UVSOR Facility," *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **92**, 165 (1999).
- K. G. NATH, Y. UFUKTEPE, S. KIMURA, T. KINOSHITA, H. KUMIGASHIRA, T. TAKAHASHI, H. MATSUMURA, T. SUZUKI, H. OGASAWARA and A. KOTANI, "4d Core level photoemission spectroscopy and the resonance behavior of mixed-valence Tm monochalcogenides," *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **88-91**, 369 (1998).
- T. KINOSHITA, Y. UFUKTEPE, K. G. NATH, S. KIMURA, H. KUMIGASHIRA, T. TAKAHASHI, T. MATSUMURA, T. SUZUKI, H. OGASAWARA and A. KOTANI, "Resonant photoemission studies of Thulium monochalcogenides around the Tm 3d threshold," *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **88-91**, 377 (1998).

C) 研究活動の課題と展望

強相関伝導系では、キャリアと局在モーメントとの相互作用により、広いエネルギー範囲に電子状態が広がっている。そのため、一般に吸収の線幅が広い。吸収の総和則を満たすためには、遠赤外から真空紫外領域にわたる広いエネルギー範囲での光学測定が必要である。通常の反射・吸収の測定と共鳴光電子分光では、電荷の移動を観測できるが、磁気光学効果等を使って、磁気モーメントを選択して励起した吸収を観測していくことが、強相関伝導系の物性の全体像を観測するのに不可欠である。1 eV以下の低エネルギー領域では、最近開発した赤外磁気光学装置を使うとそのような測定が可能である。またこの装置は、赤外放射光の特徴の一つである円偏光性を世界で最初に使ったものであり、赤外放射光の新しい測定手段として、今後も発展させていきたい。

* 1998年4月1日神戸大学大学院自然科学研究科助教授

下 條 竜 夫 (助 手)

A-1) 専門領域：化学反応動力学

A-2) 研究課題

- a) オゾンの光イオン化解離ダイナミクスの研究
- b) 二次元画像観測法を利用したコインシデンス測定装置の開発
- c) レーザーとSOR光のポンプ・プローブ実験手法の開発
- d) 新型分光器の開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) フロンなどによる成層圏でのオゾン破壊によりオゾンの電子状態の研究が注目を集めている。しかし軟X線領域の高エネルギーでは、その取り扱いの難しさからオゾンの電子状態に関する情報はほとんど得られていない。我々はUVSORのBL8B1にオゾン生成装置と処理装置を設置し、K-edge付近(525-540 eV)の光解離フラグメントの飛行時間スペクトルと異方性の測定実験を行い、そこからオゾンの光解離ダイナミクスの考察を行った。その結果、2つの $1s^{-1}$ 遷移(真ん中の酸素と両側の酸素の $1s$ 状態)から生成する酸素イオンと酸素分子イオンフラグメントが異なる解離異方性をもつことがわかった。
また同様に電子イオンコインシデンス(PEPIPICO)法による測定を行い、イオンフラグメント間の並進エネルギー分布も、2つの違った $1s^{-1}$ 遷移により明確に区別できることがわかった。
- b) 二次元画像観測法は、光解離時に放出されるイオンのフラグメントの運動量ベクトルを二次元面に射影する観測法であり、我々はイオン化解離ダイナミクスの新たな測定方法として、この観測法を利用したコインシデンス測定装置の開発を行っている。今年度はビームスキマー、Position Sensitive Detector、多段のイオン加速装置などを用いた二次元画像観測装置を製作し、実際にBL3A2において窒素の価電子帯での光解離の測定を行った。現在システムにノイズやクロストークなどの問題があり改良中である。
- c) Xeは励起状態(Xe^*5p^55d)を経由して自動イオン化させた場合、直接吸収とは大きく異なる吸収スペクトル(Fanoプロファイル)を示す。これはイオン化過程のダイナミクスの違いによるものと考えられるが、その理由はまだよくわかっていない。我々はピコ秒レーザーシステムをSOR光に同期させ、中間状態(Xe^*5p^55d)経由でXeをイオン化し、2つの光の偏光関係、時間間隔などがこのイオン化ダイナミクスにどのような影響を及ぼすかを観測している。
また同様の手法を駆使し、 N_2O の内殻励起状態から生成する $N_2^+(X_2\Sigma_g)$ 振動回転状態を、 N_2^+ のA-X遷移を利用したLIFスペクトルにより測定している。
- d) 新BL4Bのビームライン分光器として、不等間隔グレーティングを用いた高分解能かつ高スループットの軟X線用分光器の設計を行っている。約600 eVで、入射スリットスループットほぼ100%の場合、分解能(E/E)1500が可能であることがわかった。

C) 研究活動の課題と展望

気相中でのイオンの解離は質量分析の基本的な研究課題であり、また大気物理化学や宇宙化学の分野でも重要な現象である。とくに短い寿命の孤立イオンの解離はもっとも単純な単分子反応の一つであり、化学反応の重要なテーマでもある。オゾンは大気化学的に非常に重要な分子であるが、それに加え、等殻三原子分子という特異性を持っており、その解離ダイナミクスには大きな興味もたれている。今後はPIPICO等の測定により、オゾンの二価イオン解離過程のダイナミクス、リユードベルグ状態のスペクトル測定などを行っていく。

またこれと並行して、レーザーとSR光のパンプ・プローブ実験、二次元画像法を利用した電子とイオンの解離異方性のコインシデンス測定などの技術にも取り組んでいく予定である。これらの技術は未開発な部分を多く含んでおり、新技術という点でも興味深い。さらに将来的には、第三世代シンクロトロン放射光のための実験装置、たとえばシングルバンチでの電子の飛行時間測定による光電子エネルギー分布測定装置の開発などにも着手していきたいと考えている。