放射光物性研究室

Soft X-Ray Spectroscopy Laboratory

主任研究員 辛 埴

SHIN, Shik

当研究室は、SPring-8において軟 X 線領域の最先端の分光学の開発を行いながら、それを用いた光物性および物質科学の研究を行うことを目的としている。軟 X 線領域の光は電子物性を観測するのに最適な光であるため、高分解能光電子分光、軟 X 線蛍光・ラマン散乱の実験手段を用いて様々な物質の電子状態の研究を行っている。光電子分光は物質中の電子の情報を知る有力な方法であり、強相関物質のフェルミ面付近の 3d, 4f 成分を観測することによって、超伝導や金属絶縁体相転移等のメカニズムを研究している。軟 X 線蛍光・ラマン散乱は物質の部分状態密度を知る実験方法である。これまでは実験手段がないために全く研究が不可能であったような複雑な多元系物質の電子状態を調べている。近年は特に生体物質の電子状態の研究に力を入れている。本年度は、昨年度から建設が始まった理研専用軟 X 線ビームラインへの挿入光源、基幹チャンネル、ビームライン・インターロック・システム等の現地据付作業および高分解能軟 X 線分光系の設計・建設が本格化し、またビームラインの完成時期に合わせて高分解能光電子分光実験装置や軟 X 線蛍光分光実験装置などのエンドステーションの整備も平行して行った。

1. 生体物質の軟 X 線蛍光分光研究 (原田^{*1})

生体物質が機能を発現するときの配位構造、電子構造およびその変化を知る手段として、軟 X 線吸収・蛍光を適用するための装置開発を行っている。本年度は

- (1) SiN 薄膜付 Si ウェハを用いた簡易な溶液セルの開発
- (2) 放射線照射による試料の変性の影響を避けるために照射位置を連続的に移動させるシステムの導入

を行った。軟 X 線蛍光分光が得意とする粉末試料や有機錯体試料、そして溶液試料等の中には照射破壊を起こしやすいものが多いため、これらの手法を導入することで軟 X 線蛍光分光の適用範囲が大きく広がった。また最近では、光化学系 II 4 核 Mn クラスターの Mn2p 励起による軟 X 線蛍光測定も手がけている。

2. 軟 X 線分光研究用ビームラインの建設 (大浦, 大橋^{*2})

近年の高輝度第三世代光源の登場と軟 X 線分光技術の目覚ましい発展によって、新たな分光研究の展開が可能になりつつある。当研究室においては、軟 X 線蛍光分光の高感度化を目指した装置開発や、高エネルギー分解能光電子分光、さらには時間分解軟 X 線分光などの研究に着手しているが、これらの研究を世界に先んじて発展させるべく、新たに軟 X 線ビームラインを SPring-8 に建設中である。本年度は、昨年度に製作した新型的可変偏光型挿入光源の蓄積リングへの設置や、基幹チャンネルの建設、ビームライン・インターロック・システムの整備等が行われた。また、エネルギー分解能 10,000 以上の実現を目指した高分解能軟 X 線分光器の設計を行い、前置鏡を含めた光学系の建設も鋭意進められている。

3. 高分解能軟 X 線蛍光分光器の開発 (徳島^{*3}, 原田^{*1})

軟 X 線蛍光分光法は観測対象が光であるため、固体、気体、表面吸着系、溶液など様々な系に適用することが可能な

優れた手法である。しかしながら、現状の軟 X 線蛍光分光器のエネルギー分解能は光電子分光装置の達成している分解能に比べると低く、これが軟 X 線蛍光分光法の発展を妨げているのは明らかな事実である。我々はこの状況を打開するために高エネルギー分解能を目指した蛍光分光器の開発を行っている。現在開発中の分光器は、分解能 5000 [E/ ΔE] を目標としている。この分解能が達成されると、電子—格子系の相互作用が明らかになるだけでなく、溶液系における水素結合、水溶液中のイオン、タンパク質などの電子状態についても解明が進むことが期待される。

4. レーザーによる時間分解および高分解能光電子分光の開発 (富樫^{*1})

近年、高出力レーザーはその目覚ましい発展により、分光実験にも広く取り入れられるようになり様々な成果を上げている。本研究では、以下のように、光電子分光にレーザーを導入し、時間分解および、高分解能化を目的とした新たな光電子分光装置の開発を行う。

(1) レーザー、放射光同時照射による時間分解分光

現在、放射光は、真空紫外—X 線領域の光源として、レーザーは赤外から紫外領域の光源として、分光を用いた物性研究に応用されているが、最近になって、両者を組み合わせることによる新しい分光法が可能になり、興味深い研究報告が報告されるようになった。現在建設中の BL17SU にファムト秒レーザーを導入し、放射光と同期をとるポンプ & プローブ法の開発を行う。この分光法を用いて内殻励起状態における電子緩和のダイナミックスの研究を行う予定である。

(2) レーザーによる高分解能光電子分光

光電子分光の分解能を制限する要因の 1 つに光源のスペクトル幅があるが、レーザー高調波を光源として用いると、現在使用されている He 放電ランプや放射光光源に比べ 3 桁も狭くできるため、更なる高分解能化が期待できる。近年、

注目を浴びている強相関係の物質では、光電子分光による高分解測定を行うことでフェルミ面近傍の電子状態解明に役立つ。最近開発された非線形結晶 $\text{KBe}_2\text{BO}_3\text{F}_2$ (KBBF) を用いて、7 eV (スペクトル幅, 0.26 meV) の準 CW 光 (繰り返し, 80 MHz) の発生に成功し、金の光電子スペクトルを測定することで世界最高分解能 0.6 meV を得ることができた。

5. 固体表面および機能材料の軟 X 線分光研究 (高田, 原田^{*1}, 徳島^{*3})

放射光を利用した軟 X 線分光 (吸収・発光・光電子) 法を併用することで物質の占有・非占有電子構造の詳細な研究が可能となる。当研究室では超高真空仕様の軟 X 線分光装置を SPring-8 の軟 X 線ビームラインに導入し、固体表面吸着系や希薄磁性半導体に代表されるような新規機能性材料の電子構造や化学結合に関する研究を行っている。我々が独自に設計・開発した軟 X 線発光分光器はエネルギー分解能・感度ともに世界最高レベルの性能を有しており、これによって試料濃度の薄い表面吸着分子や半導体に微量ドーパされた金属原子について元素選択的にかつ対称性を分離した電子構造・化学結合の直接観測を実現している。Ni(100) 表面に吸着した SO_2 分子について測定を行ったところ、分子面外に広がった π^* 非占有軌道だけでなく、分子内の結合軸方向に広がる σ^* 軌道も Ni 3d から電子供与を受けて孤立分子とは異なる新たな表面での化学結合を形成することを明らかにした。またスピントロニクス材料として注目されている希薄磁性半導体 GaMnN については、微量 (4%) な Mn のドーピングによって価電子帯頂上および伝導体の底に Mn 3d と強く混成した N 2p 状態が出現することを見だし、強磁性発現に関して強い軌道混成が重要な役割を果たしていることを明らかにした。

6. 硬 X 線励起光電子分光研究 (高田・小林^{*2})

光電子分光法は物質の占有電子状態を直接調べる唯一かつ強力な手法であるが、真空紫外・軟 X 線励起では光電子の運動エネルギーが小さく固体内部での平均自由行程が短いために表面敏感な手法として認知されてきた。このため、測定対象は超高真空中で“理想的な表面”が作成できる物質に限定され、材料科学・半導体科学に幅広く応用することが困難であった。最近我々はバルク感度が高い、すなわち表面鈍感な手法とすることを目的として、SPring-8 で高輝度放射光を利用した硬 X 線励起による高分解能光電子分光法の開発を X 線干渉光学研究室, JASRI, 広島大 HiSOR との共同研究として行っている。6 keV の励起エネルギーで金属・酸化物・半導体をはじめとして有機物やナノ積層デバイスなどについて実験を行い、内殻はもとよりこれまで全く例がなかった価電子帯についても 200 meV 程度の高エネルギー分解能で電子状態を調べることが可能な分光法の実現に初めて成功した。測定対象を選ばない硬 X 線励起光電子分光法は、固体物理は勿論のこと MBE 成長薄膜や EL 発光素子をはじめとした材料科学や半導体テクノロジーに大きく貢献できる手法であり、さらにウェットな生体関連物質への応用なども視野に入れて研究を行っている。

7. 時間分解分光の開発 (小林^{*2}, 大浦, 塚本^{*4}, 原

田^{*1})

シンクロトロン放射 (SR) のパルス特性を利用した時間分解分光法の開発を試みている。現在、その応用としてコインシデンス分光のための多重パラメータ同時計測システムの研究開発を行っている。高輝度軟 X 線による内殻励起状態は、オージェ崩壊過程や軟 X 線発光過程等チャンネルを経た、多岐にわたる遷移経路により脱励起する。これらの過程を詳細に研究し、現象の理解を更に深めるためには内殻光電子と脱励起の際の生成粒子との同時計測法が有効となる可能性がある。本年度は、こうした測定をより汎用的に行えるようにするための多重パラメータ同時計測システムの構築を行い、SPring-8 BL27SU において気相標的を用いた性能評価実験を行った。

8. 多価イオンの光吸収過程の研究 (大浦, 川面^{*2}; 山岡 (X 線超放射物理学研究室))

多価イオンを標的とした光吸収過程を、等核系列、等電子系列について、系統的に調べ、多価イオンの構造や多電子系の内殻励起—脱励起といった光吸収過程のダイナミクスに関する知見を得る目的で研究を行っている。これを実施するための多価イオン光吸収実験装置は現在 SPring-8 BL15XU 実験ハッチに設置されており、希ガス多価イオンの K 殻電子を標的とした合流ビーム法による実験を行うべく準備が進められている。

9. 高輝度放射光による多電子励起過程の研究 (大浦, 田口^{*1}, 竹内^{*5})

内殻励起に伴う多電子励起過程としてシェイク過程が良く知られている。本研究では、多重励起状態から放出される蛍光 X 線 (多重空孔状態から放出される蛍光 X 線をサテライト X 線という) を高分解能測定し、その強度およびスペクトル形状の入射光エネルギー依存性を調べることで多重励起過程のダイナミクスや非占有軌道に関する分光学的な情報を得るような実験を行っている。本年度は、軟 X 線領域の高輝度放射光を用い、フッ素化合物や希土類酸化物を標的とした内殻吸収・発光分光法による実験を行い、吸収スペクトルにおける吸収端近傍微細構造への多電子励起過程の寄与を実験的に分離することに世界で初めて成功している。

^{*1} 基礎科学特別研究員, ^{*2} 共同研究員, ^{*3} ジュニア・リサーチ・アソシエイト, ^{*4} 技術研究生, ^{*5} 研修生

This laboratory has the two missions to develop the cutting edge spectroscopy in soft X-ray region and to study the solid state physics by using soft x-ray spectroscopy. We study the following subjects:

1. A soft x-ray undulator beamline is under construction at SPring-8. Installation of a novel insertion device called asymmetric figure-8 undulator, front-end components and a beamline interlock system is in progress. Design and construction of a high-resolution soft x-ray monochromator is also in progress.

2. We have revised a system for the soft x-ray emis-

sion spectroscopy on biological samples. We developed the simple liquid cell with a SiN membrane on a Si wafer and developed the sample scanning system to avoid an overlap of signals from a damaged state.

3. Soft X-ray emission spectroscopy is a technique applicable to various systems like solid, gas, surface adsorbate, liquid, and solution. However, energy resolution of the soft X-ray emission spectrometer is worse in comparison with the resolution that the photoelectron energy analyzer has achieved. Thus, we are developing the emission spectrometer to get much higher energy resolution. This spectrometer has 5000 [E/ Δ E] resolution. Electronic state around the Fermi level and electron-phonon coupling mechanism become clear by this spectrometer.

4. Recently, Lasers has been applied as new spectroscopic methods with a progress of high power laser systems.

(1) We are developing the time-resolved photoemission spectroscopy with synchronization system between an intense femtosecond laser and Soft X-ray pulse at BL17SU. This system is useful for an investigation of the electron state dynamics at the photo-induced phase transition.

(2) We have also developed the high-resolution photoemission spectroscopy system with a quasi-CW vacuum ultraviolet light source based on a harmonic of lasers. 7-eV photon beam with 0.26-meV bandwidth was produced by $\text{KBe}_2\text{BO}_3\text{F}_2$ (KBBF), which has been developed as a new nonlinear crystal since 1996 by C. Chen. We obtained a 0.6-meV resolution by measuring Au photoelectron spectrum. We are going to research the electron states of low T_c materials with this system.

5. Soft x-ray spectroscopy such as absorption, photoemission, and soft x-ray emission is a powerful tool to investigate both occupied and unoccupied electronic structures. Especially soft x-ray emission spectroscopy enables us to directly probe chemical bonding with elemental specificity and symmetry selectivity. We have installed an UHV apparatus at a soft x-ray beamline in SPring-8. By use of our originally developed soft x-ray spectrometer, we are investigating the electronic structure and chemical bonding in adsorbed molecules on metal surfaces such as $\text{SO}_2/\text{Ni}(100)$ and also new functional materials such as diluted magnetic semiconductor GaMnN.

6. Photoemission spectroscopy (PES) has been regarded as a surface sensitive method due to the short probing depth in VUV and soft x-ray region. To realize a bulk sensitive probe, i.e., surface-free method, we are developing hard x-ray PES at SPring-8 in collaboration with Coherent X-ray Optics Lab. and JASRI. We have succeeded in measuring valence band PES at hard x-ray excitation (6 keV) with high energy resolution for the first time. Large probing depth enables us to measure materials so far inaccessible due to the lack of proper surface preparation methods.

7. In order to investigate the dynamics of inner-shell photoexcitation and relaxation processes in the heavy elements, we are studying the photoabsorption process on the multiply charged ions along an isonuclear- as well as an isoelectronic-sequence systematically.

8. In order to advance in knowledge of materials science by means of the soft x-ray spectroscopy, we are developing

the multi-parameter data acquisition system suited for the coincidence spectroscopy.

9. Study of the multielectron processes in ionic fluorine compounds by means of soft x-ray absorption and emission spectroscopy is in progress. We could successfully resolve the contribution of multielectron transitions to the absorption spectrum for the first time.

Research Subjects and Members of Soft X-Ray Spectroscopy Laboratory

1. Element-specific soft-x-ray emission study on the electronic structure of biological samples in solutions
2. Construction of a soft x-ray beamline for spectroscopic studies
3. Development of high resolution soft x-ray emission spectrometer
4. Development of the time-resolved and high-resolution photoemission spectroscopy systems with lasers
5. Soft x-ray spectroscopy on adsorbed molecules and functional materials
6. Development of hard x-ray photoemission spectroscopy
7. Research and development for the time-resolved spectroscopy
8. A study of photoabsorption processes on multiply charged ions
9. A study of multielectron processes using high brilliant synchrotron radiation

Head

Dr. Shik SHIN

Members

Dr. Masaki OURA

Dr. Yasutaka TAKATA

Dr. Yoshihisa HARADA *

Dr. Tadashi TOGASHI *

Dr. Munetaka TAGUCHI *

* Special Postdoctoral Researcher

in collaboration with

Dr. Hitoshi YAMAOKA (Coherent Synchrotron Light Source Physics Lab.)

Visiting Members

Dr. Ashish CHAINANI (Inst. Plasma Res., India)

Dr. Masami FUJISAWA (ISSP)

Prof. Eiji ISHIGURO (Fac. Ed., Ryukyu Univ.)

Dr. Masashi ISHII (JASRI)

Prof. Atsushi ITOH (Fac. Eng., Tokai Univ.)

Prof. Kiyoshi KAWATSURA (Fac. Eng. Des., Kyoto Inst. of Technol.)

Dr. Hiroaki KIMURA (JASRI)
 Dr. Keisuke KOBAYASHI (JASRI)
 Prof. Tsuneaki MIYAHARA (Grad. Sch. Sci., Tokyo
 Metrop. Univ.)
 Dr. Yasuji MURAMATSU (JAERI)
 Dr. Haruhiko OHASHI (JASRI)
 Prof. Shigemasa SUGA (Grad. Sch. Eng. Sci., Osaka
 Univ.)
 Prof. Takeyo TSUKAMOTO (Fac. Sci., Tokyo Univ.
 Sci.)
 Dr. Takuya SUZUKI (Fac. Environ. Eng., Kitakyushu
 Univ.)
 Prof. Tetsuya YAMAMOTO (Fac. Eng., Kochi Univ.
 Technol.)
 Dr. Cai YONG (APCST, Taiwan)
 Mr. Kazunori TSUKAMOTO (Grad. Sch. Sci. Eng.
 Univ. Tsukuba)
 Mr. Takashi TOKUSHIMA (Grad. Sch. Sci., Hiroshima
 Univ.)

Trainees

Mr. Teruhisa BABA (ISSP)
 Ms. Ritsuko EGUCHI (ISSP)
 Mr. Takao HARUNA (ISSP)
 Mr. Rayjada PRATIPALSINH (ISSP)
 Mr. Tomoyuki TAKEUCHI (ISSP)
 Mr. Shunsuke TSUDA (ISSP)

誌 上 発 表 Publications

[雑誌]

(原著論文) *印は査読制度がある論文

- Kanai K., Terashima T., Kotani A., Uozumi T., Schmerber G., Kappler J. P., Parlebas J. C., and Shin S.: “Resonant inverse photoemission spectroscopy at the prethreshold of the Ce- $N_{4,5}$ absorption edge in CePd₃”, *Phys. Rev. B* **63**, 033106-1–033106-4 (2000). *
- Higuchi T., Tanaka M., Kudoh K., Takeuchi T., Harada Y., Shin S., and Tsukamoto T.: “Electronic structure of Bi₄Ti₃O₁₂ thin film by soft-X-ray emission spectroscopy”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **40**, 5803–5805 (2001). *
- Yokoya T., Fukushima A., Kiss T., Kobayashi K., Shin S., Moriguchi K., Shintani A., Fukuoka H., and Yamanaka S.: “Electronic structure and superconducting gap of silicon clathrate Ba₈Si₄₆ studied with ultrahigh-resolution photoemission spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **64**, 172504-1–172504-4 (2001). *
- Chainani A., Yokoya T., Kiss T., Shin S., Nishio T., and Uwe H.: “Electron-photon coupling induced pseudogap and superconducting transition in Ba_{0.67}K_{0.33}BiO₃”, *Phys. Rev. B* **64**, 180509-1–180509-4 (2001). *
- Higuchi T., Tsukamoto T., Kobayashi K., Yamaguchi S., Ishiwata Y., Sata N., Hiramoto K., Ishigame M., and Shin S.: “Direct evidence of *p*-type SrTiO₃ by high-resolution x-ray absorption spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **65**, 033201-1–033201-4 (2001). *
- Yokoya T., Kiss T., Ashish C., and Shin S.: “Superconducting transitions studied by ultrahigh-resolution photoemission”, *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **124**, 99–105 (2002). *
- Iwamoto H., Oiwa K., Suzuki T., and Fujisawa T.: “States of thin filament regulatory proteins as revealed by combined cross-linking/X-ray diffraction techniques”, *J. Mol. Biol.* **317**, 707–720 (2002). *
- Oura M., Yamaoka H., Kawatsura K., Takahiro K., Takeshima N., Zou Y., Hutton R., Ito S., Awaya Y., Terasawa M., Sekioka T., and Mukoyama T.: “Correlative multielectron processes in K-shell photoionization of Ca, Ti and V in the energy range of 8–35 keV”, *J. Phys. B* **35**, 3847–3863 (2002). *
- Kawatsura K., Yamaoka H., Oura M., Hayaishi T., Sekioka T., Agui A., Yoshigoe A., and Koike F.: “The 1s-2p resonance photoionization measurement of O⁺ ions in comparison with an isoelectronic species Ne³⁺”, *J. Phys. B* **35**, 4147–4153 (2002). *
- Yokoya T., Tsuda S., Ashish Atma C., Kiss T., Hirata K., Takano Y., Togano K., Kito H., Ihara H., and Shin S.: “Photoemission results of intermetallic superconductors: Nb₃Al and MgB₂”, *J. Phys. Chem. Solids* **63**, 2141–2144 (2002). *
- Nakamura J., Watanabe M., Oguchi T., Nasubida S., Kabasawa E., Yamada N., Kuroki K., Yamazaki H., Shin S., Umeda Y., Minakawa S., Kimura N., and Aoki H.: “Electronic structure of B-2*p* state in AlB₂ single crystal: direct observation of *pσ* and *pπ* density of states”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **71**, 408–410 (2002). *
- Miyata N., Yanagihara M., Watanabe M., Harada Y., and Shin S.: “ π emission anomaly in the N 1s resonance emission from hexagonal BN: Effects of the core hole potential”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **71**, 1761–1764 (2002). *
- Higuchi T., Tukamoto T., Yamaguchi S., Sata N., Hiramoto K., Ishigame M., and Shin S.: “Protonic conduction in the single crystal of Sc-doped SrZrO₃”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **41**, 6440–6442 (2002). *
- Higuchi T., Tsukamoto T., Yamaguchi S., Tezuka Y., and Shin S.: “Electronic structure of 4*d* transition metal compound ZrFH₄ by resonant photoemission spectroscopy”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.1* **41**, 2090–2093 (2002). *
- Higuchi T., Tsukamoto T., Sata N., Hiramoto K., Ishigame M., and Shin S.: “Protonic conduction in the single crystal of SrTi_{1-x}Sc_xO₃”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.1* **41**, 2120–2121 (2002). *
- Higuchi T., Tsukamoto T., Yamaguchi S., Tezuka Y., and Shin S.: “Ti-O hybridization effect of lightly La-doped SrTiO₃ observed by resonant-photoemission spectroscopy”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.1* **41**, 5674–5675 (2002). *
- Higuchi T., Kudoh K., Takeuchi T., Masuda Y., Harada

- Y., Shin S., and Tukamoto T.: “Electronic structures of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ thin film and single crystal determined by resonant soft-x-ray emission spectroscopy”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.1* **41**, 7195–7197 (2002). *
- Higuchi T., Yamaguchi S., Kobayashi K., Takeuchi T., Shin S., and Tukamoto T.: “Electronic structure in the bulk state of protonic conductor CaZrO_3 by resonant soft-x-ray emission spectroscopy”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.2* **41**, L938–L940 (2002). *
- Imai M., Sataka M., Kitazawa S., Komaki K., Kawatsura K., Shibata H., Tawara H., Azuma T., Kanai Y., and Yamazaki Y.: “Angular momentum distributions of Rydberg state electrons of Be-like sulfur produced through foil penetration”, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* **193**, 674–679 (2002). *
- Yamaoka H., Oura M., Kawatsura K., Hayaishi T., Sekioka T., Agui A., Yoshigoe A., and Koike F.: “Photoionization of singly and doubly charged neon ions following inner-shell excitation”, *Phys. Rev. A* **65**, 012709-1–012709-8 (2002). *
- Yamaoka H., Oura M., Takahiro K., Takshima N., Kawatsura K., Mizumaki M., Kleiman U., Kabachnik N. M., and Mukoyama T.: “Angular distribution of Au and Pb L x rays following photoionization by synchrotron radiation”, *Phys. Rev. A* **65**, 062713-1–062713-8 (2002). *
- Kanai K., Takeda N., Nozawa S., Yokoya T., Ishikawa M., and Shin S.: “Electronic structure of the filled skutterudite compound $\text{CeRu}_4\text{Sb}_{12}$ ”, *Phys. Rev. B* **65**, 014405(R)-1–041105(R)-4 (2002). *
- Uozumi T., Kanai K., Shin S., Kotani A., Schmerber G., Kappler J. P., and Parlebas J. C.: “Theoretical and experimental study of surface and bulk contributions in resonant inverse photoemission of CeRh_3 ”, *Phys. Rev. B* **65**, 045105-1–045105-10 (2002). *
- Ashish Atma C., Kumigashira H., Ito T., Sato T., Takahashi T., Yokoya T., Higuchi T., Takeuchi T., Shin S., and Sato N. K.: “Electronic structure of black SmS : I. $4d$ - $4f$ resonance and angle-integrated valence-band photoemission spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **65**, 155201-1–155201-7 (2002). *
- Ishiwata Y., Watanabe M., Eguchi R., Takeuchi T., Harada Y., Ashish Atma C., Shin S., Hayashi T., Hashimoto Y., Katsumoto S., and Iye Y.: “Manganese concentration and low-temperature annealing dependence of $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$ by x-ray absorption spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **65**, 233201-1–233201-4 (2002). *
- Eguchi R., Yokoya T., Baba T., Hanawa M., Hiroi Z., Kamakura N., Takada Y., Harima H., and Shin S.: “Photoemission study of pyrochlore superconductor $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ ”, *Phys. Rev. B* **66**, 012516-1–012516-4 (2002). *
- Higuchi T., Nozawa S., Tukamoto T., Ishii H., Eguchi R., Tezuka Y., Yamaguchi S., Kanai K., and Shin S.: “Unoccupied electronic structure in the surface state of lightly doped SrTiO_3 by resonant inverse photoemission spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **66**, 153105-1–153105-4 (2002). *
- Harada Y., Okada K., Eguchi R., Kotani A., Takagi H., Takeuchi T., and Shin S.: “Unique identification of Zhang-Rice singlet excitation in $\text{Sr}_2\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ mediated by O $1s$ core hole: Symmetry-selective resonant soft x-ray Raman scattering study”, *Phys. Rev. B* **66**, 165104-1–165104-5 (2002). *
- Tsuda S., Yokoya T., Kiss T., Ashish Atma C., Takano Y., Togano K., Kito H., Ihara H., and Shin S.: “Superconducting gap of MgB_2 observed using ultrahigh-resolution photoemission spectroscopy”, *Physica B* **312/313**, 150–151 (2002). *
- Eguchi R., Yokoya T., Kiss T., Ueda Y., Tajima H., Yamazaki J., and Shin S.: “Angle-resolved photoemission spectroscopy, optical conductivity, and soft X-ray Raman spectroscopy of quasi-one-dimensional V_6O_{13} ”, *Physica B* **312/313**, 600–602 (2002). *
- Kiss T., Yokoya T., Chainani A., Shin S., Nohara M., and Takagi H.: “Fermi surface and superconducting gap of $2H\text{-NbSe}_2$ using low-temperature ultrahigh-resolution angle-resolved photoemission spectroscopy”, *Physica B* **312/313**, 666–667 (2002). *
- Yokoya T., Ashish Atma C., Kiss T., Shin S., Hirata K., Kameda N., Tamegai T., Nishio T., and Uwe H.: “High-resolution photoemission study of low- T_c superconductors: Phonon-induced electronic structures in low- T_c superconductors and comparison with the results of high- T_c cuprates”, *Physica C* **378/381**, 97–101 (2002). *
- Higuchi T., Tsukamoto T., Sata N., Ishigame M., Kobayashi K., Yamaguchi S., and Shin S.: “Electronic structures of protonic conductors SrTiO_3 and SrCeO_3 by O $1s$ X-ray absorption spectroscopy”, *Solid State Ionics* **154/155**, 735–739 (2002). *
- Tokushima T., Harada Y., Watanabe M., Takada Y., Ishiguro E., Hiraya A., and Shin S.: “Design of a flat field spectrometer for soft x-ray emission spectroscopy”, *Surf. Rev. Lett.* **9**, 503–508 (2002). *
- Oura M., Kobayashi K., Watanabe M., Harada Y., Suzuki T., Shin S., and Jagutzki O.: “Feasibility studies of the three-dimensional detector for soft x-ray emission spectroscopy”, *Surf. Rev. Lett.* **9**, 515–520 (2002). *
- Higuchi T., Tukamoto T., Sata N., Ishigame M., Yamaguchi S., and Shin S.: “Optical absorption spectra of protonic conductor $\text{CaZr}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{O}_{3-\delta}$ ”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.1* **42**, 1331–1332 (2003). *
- Ishii M.: “Double resonance capacitance spectroscopy (DORCAS): A new experimental technique for assignment of X-ray absorption peaks to surface sites of semiconductor”, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* **199**, 205–210 (2003). *
- Higuchi T., Tukamoto T., Yamaguchi S., Kobayashi K., Sata N., Ishigame M., and Shin S.: “Observation of ac-

ceptor level of p-type SrTiO₃ by high-resolution soft-x-ray absorption spectroscopy”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B **199**, 255–259 (2003). *

Higuchi T., Takeuchi T., Tukamoto T., Harada Y., Taguchi Y., Tokura Y., and Shin S.: “Electron correlation energy of La_xSr_{1-x}TiO₃ by high-resolution soft-x-ray emission spectroscopy”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B **199**, 386–390 (2003). *

Togashi T., Kanai T., Sekikawa T., Watanabe S., Chen C., Zhang C., Xu Z., and Wang J.: “Generation of vacuum-ultraviolet light by an optically contacted, prism-coupled KBe₂BO₃F₂ crystal”, Opt. Lett. **28**, 254–256 (2003). *

津田俊輔, 横谷尚睦, 木須孝幸, 辛埴: “超高分解能光電子分光と物性研究: MgB₂ の超伝導ギャップの直接観測を例にして”, 日本物理学会誌 **57**, 258–262 (2002). *

世取山翼, 鈴木嘉昭, 塚本桓世, 岩木正哉: “イオンビーム照射による薄膜と細胞シートの形成”, 高分子論文集 **60**, 57–63 (2003). *

(総説)

山岡人志, 大浦正樹, 北本俊二: “放射光を使った原子物理と天体物理との接点: イオンの光電離実験”, 放射光 **15**, 209–218 (2002).

(その他)

Harada Y., Oura M., Watanabe M., Tokushima T., Kobayashi K., Takeuchi T., and Shin S.: “Soft X-ray emission spectroscopy at the L-edge of transition metals in metalloproteins”, RIKEN Rev., No. 46, pp. 45–47 (2002).

[単行本・Proc.]

(原著論文) *印は査読制度がある論文

Oura M.: “Near threshold evolution of multielectron processes in fluorine 1s photoionization”, Proc. Int. Seminar on Photoionization in Atom (ISPA), Kyoto, 2002–8, Kyoto University Press, Kyoto, pp. 55–61 (2002).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Yamaoka H., Oura M., Kawatsura K., Hayaishi T., Koizumi T., Ito Y., Kojima T., Sekioka T., Terasawa M., Awaya Y., and Koike F.: “Photoionization of singly and multiply charged ions following inner-shell excitation by synchrotron radiation”, 22nd Int. Conf. on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2001), Santa Fe, USA, July (2001).

Harada Y., Shin S., Oura M., Watanabe M., Kobayashi K., and Takeuchi T.: “Test measurements on the soft-x-ray emission at the Fe L-edge of myoglobin solution”, 13th Int. Conf. on Vacuum Ultraviolet Radiation Physics, (Sincrotrone Trieste and others), Trieste, Italy, July (2001).

Harada Y., Watanabe M., Kobayashi K., Takeuchi T., and Shin S.: “Soft-x-ray Raman scattering study on 3d⁰ transition metal compounds systems”, IUPAC Int. Congr. on Analytical Science 2001 (ICAS 2001), (The Japan Society for Analytical Chemistry), Tokyo, Aug.

(2001).

Oura M.: “Near threshold evolution of multielectron processes in fluorine 1s photoionization”, Int. Seminar on Photoionization in Atom (ISPA), (Institute for Chemical Research, Kyoto University), Kyoto, Aug. (2002).

Yamaoka H., Oura M., Takahiro K., Takeshima N., Kawatsura K., Mizumaki M., Kleiman U., Kabachnik N. M., and Mukoyama T.: “Angular distribution of Au and Pb L x rays following photoionization by synchrotron radiation”, Int. Workshop on Photoionization (IWP2002), (JASRI, RIKEN, and JAERI), Harima, Aug. (2002).

Morikawa T., Oura M., Yamaoka H., Kawatsura K., Takahiro K., Takeshima N., Maeda K., Hayakawa S., Ito S., Sekioka H., Terasawa M., and Mukoyama T.: “Evolution of the K α x-ray satellites for Fe, Ni and Zn”, Int. Workshop on Photoionization (IWP2002), (JASRI, RIKEN, and JAERI), Harima, Aug. (2002).

Yotoryama T., Tukamoto T., Suzuki Y., and Iwaki M.: “The formation of a super-thin film and self-assembly cellular spheroid by ion beam irradiation”, 13th Int. Conf. on Ion Beam Modification of Materials (IBMM 2002), Kobe, Sept. (2002).

Aoyagi H., Mochizuki T., Oura M., Sakurai Y., Sano M., Takahashi S., and Kitamura H.: “Alignment of photon beam-line components of the SPring-8 front ends”, 7th Int. Workshop on Accelerator Alignment (IWAA 2002), (JASRI), Harima, Nov. (2002).

(国内会議)

中島達雄, 塚本桓世, 許健司, 鈴木嘉昭, 貝原真, 岩木正哉, 小川明: “ステント材料表面へのコラーゲンの複合化および生体適合性評価”, 第 51 回高分子学会年次大会, 横浜, 5 月 (2002).

世取山翼, 塚本桓世, 鈴木嘉昭, 貝原真, 岩木正哉: “イオンビーム照射による超薄膜と細胞スフェロイドの形成”, 第 51 回高分子学会年次大会, 横浜, 5 月 (2002).

森川司, 大浦正樹, 山岡人志, 川面潔, 高廣克己, 竹島直樹, 前田邦子, 早川慎二郎, 伊藤真, 寺澤倫孝, 関岡嗣久, 向山毅: “Fe, Ni, Zn の K α L 衛星線の入射光エネルギー依存性”, 原子衝突研究協会第 27 回研究会, 京都, 8 月 (2002).

世取山翼, 鈴木嘉昭, 貝原真, 岩木正哉, 塚本桓世: “生分解性高分子へのイオンビーム照射による細胞シートの形成”, 第 63 回応用物理学学会学術講演会, 新潟, 9 月 (2002).

高橋範吉, 塚本桓世, 鈴木嘉昭, 岩木正哉, 氏家弘, 堀島勝: “イオンビーム照射による Gore-Tex 人工硬膜 (ePTFE) の改良: 組織及びフィブリン糊接着性の付与”, 21 世紀連合シンポジウム「科学技術と人間」, 東京, 11 月 (2002).

中島達雄, 塚本桓世, 塙隆夫, 山本玲子, 鈴木嘉昭, 岩木正哉: “イオンビーム照射によるチタン表面における抗血栓性の向上について”, 21 世紀連合シンポジウム「科学技術と人間」, 東京, 11 月 (2002).

世取山翼, 塚本桓世, 鈴木嘉昭, 岩木正哉: “生分解性高分子へのイオンビーム照射による細胞薄膜の形成”, 21 世紀連合シンポジウム「科学技術と人間」, 東京, 11 月 (2002).

中島達雄, 塚本桓世, 鈴木嘉昭, 岩木正哉, 塙隆夫, 山本玲子: “ヘリウム・イオンビーム照射されたチタンの血液適合性”,

日本 MRS 年次総会学術シンポジウム, 東京, 12 月 (2002).
世取山翼, 塚本桓世, 鈴木嘉昭, 岩木正哉: “イオンビーム照射されたポリ乳酸の表面分析”, 日本 MRS 年次総会学術シンポジウム, 東京, 12 月 (2002).
山岡人志, 高廣克己, 森川司, 川面澄, 大浦正樹, 向山毅: “鉄化合物における spin selective な $K\beta X$ 線発光分光”, 第 16 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 姫路, 1 月 (2003).
大浦正樹, 竹内智之, 春名貴雄, 辛埴, 向山毅, 原田慈久, 山岡人志, 塚本一徳, 鈴木拓: “軟 X 線吸収・発光分光による

多電子励起過程の研究”, 第 16 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 姫路, 1 月 (2003).
木須孝幸, 横谷尚睦, Ashish Atma C., 辛埴, 野原実, 花栗哲郎, 高木英典: “ $2H-NbSe_2$ の超高分解能光電子分光: フェルミ面の温度変化と CDW の機構”, 日本物理学会第 58 回年次大会, 仙台, 3 月 (2003).
春名貴雄, 伊藤貴寛, 辛埴, 加藤礼三: “超高分解能角度分解光電子分光による TTF-TCNQ の CDW 転移”, 日本物理学会第 58 回年次大会, 仙台, 3 月 (2003).