

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、理研専用軟 X 線ビームラインの高分解能軟 X 線分光系のうち、ブランチ a の部分の建設が完了し、また高分解能光電子分光実験装置や軟 X 線発光分光実験装置などの一部のエンドステーションの整備もほぼ完了した。

1. 軟 X 線分光研究用ビームラインの建設 (大浦, 大橋^{*1})

近年の第三世代高輝度光源の出現と軟 X 線分光技術の目覚ましい進歩により、新たな分光研究の展開が可能になりつつある。当研究室では、大型放射光施設 SPring-8 において、軟 X 線領域の先端的な分光研究を展開するために、2001 年度より高輝度軟 X 線アンジュレータビームライン BL17SU の建設を行ってきた。本年度は、昨年度までに整備してきた新型の可変偏光型挿入光源、基幹チャンネル、光学ハッチやビームライン・インターロック・システム等に関して、加速器全体を含めた安全系インターロック総合試験を夏開けまでに行い、9 月初旬には新型可変偏光型挿入光源からの放射光を基幹チャンネル部の蛍光板にて初めて観測した。引き続き、エネルギー分解能 10,000 以上の実現を目指して本年度初頭に建設した高分解能軟 X 線光学系の立ち上げ調整運転を開始した。3ヶ月足らずの調整運転で当面の目標としていたエネルギー分解能 10,000 を達成し、2004 年 1 月からは限定的な使用条件ではあるが、放射光利用研究が一部開始されている。分解能の分解能評価には、超高分解能の電子エネルギー分析器を用いた。また、これと平行して来年度建設予定の分岐ビームラインの光学系および実験装置の配置等についての検討が行われている。

2. 高分解能軟 X 線発光分光器の開発 (徳島^{*2}, 原田^{*1})

軟 X 線発光分光法はその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 線発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 線発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、分光器の光学設計、高感度 CCD 検出器の導入、分光器の特性を利用した位置分解能向上法など、

様々な技術的側面から性能の向上を図っている。現在、開発中の分光器 (HEPA2) は、すでに濃度の薄い試料の研究に成果を挙げている高効率分光器 (HEPA1) の設計思想を受け継いだ高効率スリットレス型分光器である。スリットのない分光器の分解能は照射する光のスポットサイズに依存していて、照射光スポットサイズ $2.5 \mu\text{m}$ (FWHM) を達成することができる集光学系と組み合わせて使用することにより分解能 5,000 程度までの性能が期待できる。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。HEPA2 は大気圧下における液体試料の実験を行うための装置に組み込まれる予定である。

3. 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^{*2}, 田口^{*2}, 竹内^{*3})

当研究室では超高真空仕様の実験装置を SPring-8 の軟 X 線ビームライン BL27SU 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。この装置では、放射光を利用した軟 X 線分光 (吸収・発光・光電子) 法によって物質の占有・非占有電子構造の詳細な研究を行うことができる。軟 X 線発光分光法による研究で使われているのは、我々が独自に設計・開発した軟 X 線発光分光器 (HEPA1) であり、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いる。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 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。またスピンエレクトロニ

クス材料として注目されている希薄磁性半導体 Mn ドープ GaN 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帯の底に 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。

4. 生体物質の軟 X 線発光分光研究 (原田 ^{*1}, 徳島 ^{*2})

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・発光を適用するための装置開発を行っている。これまで当研究室では、Si₃N₄ 薄膜 (~ 200 nm) 付 Si プレートを用いて溶液試料を溶液セルに封じ込み、真空導入して軟 X 線照射を行ってきたが、この方法では試料の軟 X 線照射によるダメージが避けられず、また耐久性の問題から Si₃N₄ 薄膜を通じた真空への開口部の面積が制限されてきたために、試料位置を連続的に移動させるシステムは適用しにくいという問題があった。そこで現在、照射位置を移動させながら、かつ効率よく微量な試料を測定するためのシステムとして、溶液冷却凍結式導入装置を製作中である。測定は以下のプロセスで行われる。

(1) ビームラインの高真空と 1 気圧の He ガスで充填された試料槽を Si₃N₄ 薄膜で分離

(2) 試料槽におかれた回転ディスク上の細孔に試料を滴下

(3) ディスクを冷却 (緩冷または急冷) して試料を糸状に凍結

(4) ディスクをゆっくり回転させながら Si₃N₄ 薄膜を通して糸状の試料に軟 X 線照射、発光検出

軟 X 線発光の測定は特定の元素の吸収端に励起エネルギーを合わせて行うため、まず始めに軟 X 線吸収スペクトルを取る必要がある。しかし金属タンパク質の場合、軽元素等の巨大なバックグラウンドに埋もれた機能中心の元素 (主に鉄、マンガンなどの遷移金属) による吸収を高効率で検出しなければならないため、新たに高検出効率と元素選択を兼ね備えた軟 X 線吸収分光器の開発も行っている。

5. SPring-8 BL17SU における光電子分光装置の建設 (鎌倉 ^{*1}, 堀場 ^{*1})

3d 遷移金属化合物、4f 電子系や高温超伝導体など最近注目を集めている物質の電子状態を調べる目的で、光電子分光装置の建設を理研軟 X 線ビームラインのエンドステーションの 1 つとして行った。この実験装置には、高分解能光電子エネルギー分析器が装備されており、角度積分光電子分光と共に、 $\pm 6^\circ$ の取り込み角を用いた角度分解光電子分光を室温から 20 K の温度範囲で測定することができる。主な特徴は入射 X 線の偏光を左右円偏光および任意の方向の直線偏光にスイッチすることができるため、光電子スペクトルの偏光依存性を調べることができること、また試料上で入射光を数 10 μm まで集光されるため、微小サイズの試料の測定が可能であることが挙げられる。また、この装置はレーザー MBE 装置と超高真空中で接続されており、レーザー MBE によって作製した遷移金属酸化物や窒化物薄膜の電子状態の観測を in-situ で行うことができる。

6. 硬 X 線励起光電子分光研究 (高田, 小林 ^{*1}, 堀場 ^{*1}, Chainani; 田口 ^{*2} (量子電子材料研究チーム); 竹内 ^{*4})

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表面敏感な手法として認知されてきた。我々はプローブ深さの大きい (表面状態を無視できる) 光電子分光法の実現を目指して、SPring-8 の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。昨年度 6 keV の励起エネルギーで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。本年度はアナライザーの改良を行い、分解能 80 meV ($E/\Delta E=75,000$) を達成した。これは世界最高性能であり、これまでの予想・期待を大きく上回るものである。さらに硬 X 線励起の特徴を生かし、従来の光電子分光法では測定対象外であったナノ薄膜やナノ粒子の電子状態を研究している。特に強相関系酸化物薄膜の内殻スペクトルでは、従来の手法では全く報告がなかった構造を初めて見だし、磁化特性・電気伝導特性との関連も含めてその物理的解釈にも成功している。この他に半導体デバイス、多層膜の“埋もれた界面”への応用を進めつつ、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 (富樫 ^{*2}, 大浦, 町田 ^{*3})

シンクロトロン放射光のバルス特性を利用した時間分解分光法の実現を試みている。高輝度軟 X 線によって生成される内殻励起状態は、オージェ崩壊過程や軟 X 線発光過程等、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、現象の理解をさらに深めるためには内殻光電子と脱励起の際に生成される粒子との同時計測法が有効となることがある。昨年度、時間分解分光法の応用として、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い、SPring-8 BL27SU における気相標的を用いた性能評価実験によってその有用性を明らかにした。本年度は、多重パラメータ同時計測システムを利用した内殻光電子と蛍光 X 線のコインシデンス分光実験について準備を進めている。また、それに適した飛行時間測定型の光電子測定システムの設計を行った。来年度の前半には内殻光電子と蛍光 X 線との間のコインシデンス分光実験を開始する予定である。これと平行して、光誘起相転移現象を示す物質の性質を光電子分光法によって調べることを目的として、高分解能半球型電子エネルギー分析器に時間分解型検出系を導入することを検討している。予備的な実験を硬 X 線励起光電子分光法によって一部始めているが、来年度より軟 X 線分光研究用ビームライン BL17SU で実験を開始すべく準備を進めている。

8. 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 ^{*2})

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-軟 X 線領域の光源として、また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活用されているが、近年、両者を組み合わせることによって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。本研究では、新設された BL17SU にフェムト秒レーザーを導入し、レーザーと放射光の同期をとり、レーザーをポンプ光、放射光をプローブ光とすることで、光電子分光の時間分解測定を行う。レーザーおよび放射光のパルス幅はそれぞれ 100 fs, 40 ps であるため、時間分解能は放射光のパルス幅で決まる。レーザーの光エネルギーは 1.5 eV であるが、基本波のみならず 2 倍波 (3 eV), 3 倍波 (4.5 eV) を非線形結晶で発生することにより、さらに高い準位への励起が可能である。さらに、OPA (Optical Parametric Amplifier) を加えることで、連続波長可変光が発生できるので、様々な励起状態への励起が可能となる。このポンプ&プローブ時間分解分光装置は、内殻と価電子帯からの同時励起が可能であるため、Si や Cu, GaAs などの固体表面における吸着分子の吸着および脱離現象や、光触媒の化学反応などのダイナミクス測定に有効である。さらに、近年、光誘起相転移を起こす物質として注目を浴びている、プルシアンブルー型錯体、スピנקロスオーバー錯体、SrTiO₃ などの量子常誘電体など、これらの相転移に関わる電子状態のダイナミクスも非常に興味深い。この分光装置を用いて様々な系のダイナミ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。最近開発された非線形結晶 KBe₂BO₃F₂ (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) の発生に成功した。さらに、本研究に用いている静電半球型分析器の改良により世界最高分解能 0.34 meV を得ることができた。7 eV の光で発生した光電子は平均自由行路長が 100 Å 程度と長いので、バルク敏感な測定が可能である。また、この装置は真空中で 3.8 K の極低温まで冷却可能で、近年注目を浴びている強相関系物質や、超伝導物質の超伝導状態におけるフェルミ面近傍の電子状態解明に役立つ。最近では、Nb, Pb, V など、転移温度が低い物質の超伝導ギャップを高分解能で測定することに成功した。さらに、有機超伝導物質や、高温超伝導を示す MgB₂、光誘起効果のある VO₂/Ti:NbO₂ など興味深い強相関系物質の測定を行っている。

9. 多価イオンの光吸収過程の研究 (大浦, 山岡)

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～脱励起といった光励起過程に関わるダイナミクスについての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、これま

では大型放射光施設 SPring-8 の共同利用研究課題として研究を進めてきたが、本年度は軟 X 線分光研究用ビームライン BL17SU で研究が展開できるように装置の移設・立ち上げ作業を行ってきた。2004 年 1 月より放射光利用研究を開始し、希ガス原子であるネオンを標的とした軟 X 線吸収分光実験を PHOBIS (PHOton Beam Ion Source) モードという特殊な運転形態で行い、今までに観測されることがない内殻共鳴二重励起状態 (1s 軌道と 2s 軌道の電子が同時に 3p 軌道と 3s 軌道に励起される状態) の観測に成功した。

10. 高輝度放射光による多電子励起過程の研究 (大浦, 町田^{*3})

内殻励起に伴う多電子励起過程としてシェイク過程がよく知られている。本年度は、希ガス原子であるネオンや四弗化炭素等における内殻多電子励起過程により放出されるオージェ電子や光電子について、SPring-8 BL27SU に設置された高分解能半球型電子エネルギー分析器を用いた角度分解測定を行った。ネオンについて、得られた実験結果と Hartree-Fock 近似による理論計算結果との比較を行い良好な一致を得ることができた。これにより、多重励起状態の生成とその脱励起過程に関する新たな知見を得ることができた。また、来年度に実験を予定している内殻光電子と蛍光 X 線とのコインシデンス分光を多電子励起過程の研究に適用するための準備を進めている。

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

This laboratory has 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. Commissioning of soft x-ray undulator beamline BL17SU is successfully achieved at SPring-8. We could achieve performance of the high-resolution soft x-ray monochromator as we have expected. A resolving power $E/\Delta E$ over 10,000 has been obtained. A branch-A beamline is ready for user experiment since January 2004. Design of branch-B beamline is in progress.

2. 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 by improving optics and detection technology. The spectrometer (HEPA2) that is slitless spectrometer same as HEPA1 is now under testing. This spectrometer is estimated to have 5000 $[E/\Delta E]$ resolution for 2.5 μm spot size by ray-trace simulation. Electronic state around the Fermi level and electron-phonon coupling mechanism become clear for this energy resolution. The spectrometer will install in the system that aims to measure electronic states of liquid sample under atmospheric pressure.

3. We have installed an UHV apparatus at a soft x-ray beamline in SPring-8 for studying electronic structure of surface adsorbate and new functional materials such as diluted magnetic semiconductor. The apparatus enabled us to investigate both occupied and unoccupied electronic

structures by use of soft x-ray spectroscopy such as absorption, photoemission, and soft x-ray emission. Using originally developed high efficiency soft x-ray spectrometer (HEPA1), 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 Mn-doped GaN. Detailed assignments of $\text{SO}_2/\text{Ni}(100)$ soft x-ray emission spectra are done based on symmetry of molecular orbital and reported ultra-violet photoemission spectra. It is found unambiguously that the electronic state with psymmetry exists nearby the Fermi edge of Ni. This electronic state is not related to the valence occupied molecular orbital of a free SO_2 molecule. The obtained result indicates hybridization of the unoccupied p^* orbital, which labeled 3b1 for a free SO_2 , with the Ni 3d orbital, which forms chemical bonding between SO_2 and Ni(100) surface.

4. We have revised a system for the soft x-ray emission spectroscopy on biological samples. Last year we have developed a simple liquid cell with a Si_3N_4 membrane on a Si wafer to introduce aqueous biological samples into vacuum for soft x-ray measurements. However, the samples in the liquid cell suffered from radiation damage. It was difficult to scan the samples against the focused beam because the radiation area was limited due to endurance problem of thin Si_3N_4 aperture. Instead, we have applied a new sample freezing system that combines the sample scanning and an effective use of a small amount of samples. During experiments frozen samples are placed close to the thin Si_3N_4 membrane and scanned by the rotation of the disk to eliminate signals from damaged samples. Inside the sample chamber a pure helium gas is circulated to increase transmission of incident and emitted soft x-rays. We are also developing a high efficiency element specific soft x-ray absorption spectrometer for metalloproteins.

5. In order to study the electronic states of materials the photoemission spectroscopy equipment has been developed at the RIKEN soft X-rays beam line. The main target is the correlated materials such as the 3d transition metal compounds, 4f electron systems, and high Tc superconductor. This experimental station equipped with the high resolution photoelectron analyzer. In addition, polarization dependence of photoemission spectra can be measured using linearly (vertical and horizontal) and circularly polarized soft X-rays and small spot size (few μm at a sample) of the incident soft X-rays enable to study small size samples, which are characteristics of this end station. Photoemission apparatus is connected to laser molecular beam epitaxy (laser MBE) equipment in ultra high vacuum, enabling in situ observation of the electronic states of transition-metal oxide or nitride thin films fabricated in laser MBE equipment.

6. In order to investigate intrinsic bulk electronic structure of various materials, we are developing Hard X-ray Photoemission Spectroscopy (HX-PES). Last year, we have realized HX-PES for the first time using high brilliant synchrotron radiation at SPring-8. High energy ($\sim 6\text{-keV}$) excitation results in larger probing depth of photoelectrons compared to conventional PES, and enables a study of intrinsic electronic property of materials free from their surface condition. With this newly realized technique, requirements for surface preparation are much reduced, if not eliminated. This year, the electron energy analyzer was upgraded, and the amazing total energy resolution of 80 meV ($E/\Delta E = 75,000$) was achieved at 6 keV. Using HX-PES, various materials, such as nano scale thin films and particles so far inaccessible due to the lack of proper sur-

face, were investigated. In core level spectra of thin films of strongly correlated materials, we found new features those have never been observed by conventional PES. The origin is successfully interpreted and is possibly related to the magnetic and/or electron conductivity. We are also trying to this method to wet and liquid samples including biological samples.

7. 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. Measurement for inner-shell photoelectrons and fluorescent x rays in coincidence are planned by using the system mentioned above.

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

(1) We are developing synchronization system between an intense femtosecond laser and soft-X-ray pulse at BL17 SU in Spring 8. This system is useful as the time-resolved photoemission spectroscopy with laser pump and soft-X-ray probe. In pump-probe measurement, time resolution depends on pulse duration of photon beams. Therefore a time resolution of 40 ps is obtained for 100-fs and 40-ps pulse durations of the laser and soft-X-ray respectively. With irradiation of two-different-energy photon beams, it is possible to excite from valence and inner-shell coincidentally. Therefore it is useful for measurements of dynamics of adsorption molecules on solid surface and chemical reaction with photo-catalysis. Recently photo-induced phase transition has been reported in organic complexes and dielectric crystals. In these materials, the localized photo-excited states or photo-carriers induce the lattice, electronic, and magnetic structure fluctuations around them via cooperative interactions. With this system, it is possible to investigate the photo-excited state dynamics of these phenomena.

(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 $\text{KBe}_2\text{BO}_3\text{F}_2(\text{KBBF})$, which has been developed as a new nonlinear crystal since 1996 by C. Chen. In addition, by improving of electron analyzer, we obtained a 0.34-meV resolution. This value is the greatest in the world as far as we know. Because the mean free path of electrons emitted by the 7-eV light is $\sim 100 \text{ \AA}$ it is possible to measure bulk of a sample sensitively. This system also is able to cool a sample down to 3.8 K. So we could measure the superconducting gap of Nb, Pb, V with low T_c .

9. 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.

10. Study of multielectron processes in gaseous elements by means of soft x-ray absorption spectroscopy as well as angle-resolved resonant Auger emission spectroscopy is in progress. Experimental results are compared with theoretical calculations based on the Hartree-Fock approximation.

Research Subjects and Members of Soft X-Ray Spectroscopy Laboratory

1. Construction of a soft x-ray beamline for spectroscopic

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

Head

Dr. Shik SHIN

Members

Dr. Ashish CHAINANI
 Dr. Masaki OURA
 Dr. Yasutaka TAKATA
 Dr. Hitoshi YAMAOKA
 Dr. Tadashi TOGASHI*
 Dr. Takashi TOKUSHIMA*

* Special Postdoctoral Researcher

in collaboration with

Dr. Munetaka TAGUCHI (Quantum Electronic Materials Research Team)
 Dr. Yoshihisa HARADA (Quantum Electronic Materials Research Team)
 Dr. Koji HORIBA (Quantum Electronic Materials Research Team)
 Dr. Nozomu KAMAKURA (Quantum Electronic Materials Research Team)

Visiting Members

Dr. Masashi ARITA (HiSOR, Hiroshima Univ.)
 Dr. Yong CAI (APCST, Taiwan)
 Dr. Masami FUJISAWA (ISSP, Univ. Tokyo)
 Prof. Eiji ISHIGURO (Fac. Educ., Ryukyu Univ.)
 Dr. Hirofumi ISHII (NSRRC, Taiwan)
 Prof. Atsushi ITOH (Fac. Eng., Tokai Univ.)
 Dr. Hiroaki KIMURA (JASRI)
 Dr. Yoshinori KITAJIMA (KEK)
 Dr. Keisuke KOBAYASHI (JASRI)
 Prof. Akio KOTANI (ISSP, Univ. Tokyo)
 Prof. Tsuneaki MIYAHARA (Grad. Sch. Sci., Tokyo

Metrop. Univ.)

Dr. Yasuji MURAMATSU (JAERI)
 Dr. Haruhiko OHASHI (JASRI)
 Dr. Shan QIAO (HiSOR, Hiroshima Univ.)
 Dr. Hitoshi SATOH (HiSOR, Hiroshima Univ.)
 Dr. Masahiro SAWADA (HiSOR, Hiroshima Univ.)
 Dr. Kenya SHIMADA (HiSOR, Hiroshima Univ.)
 Dr. Takuya SUZUKI (Fac. Environ. Eng., Kitakyushu Univ.)
 Mr. Tomoyuki TAKEUCHI (Fac. Sci., Tokyo Univ. Sci.)
 Prof. Takeyo TSUKAMOTO (Fac. Sci., Tokyo Univ. Sci.)
 Prof. Tetsuya YAMAMOTO (Fac. Eng., Kochi Univ. Technol.)

Trainees

Mr. Hironori ANDOH (ISSP, Univ. Tokyo)
 Mr. Teruhisa BABA (ISSP, Univ. Tokyo)
 Ms. Ritsuko EGUCHI (ISSP, Univ. Tokyo)
 Mr. Fumikazu KANETAKA (ISSP, Univ. Tokyo)
 Mr. Masatake MACHIDA (Fac. Sci. Himeji Inst. Technol.)
 Mr. Rayjada PRATIPALSINH (ISSP, Univ. Tokyo)
 Mr. Takahiro SHIMOJIMA (ISSP, Univ. Tokyo)
 Mr. Shunsuke TSUDA (ISSP, Univ. Tokyo)
 Mr. Kazuya YAMAMOTO (Fac. Eng., Osaka Pref. Univ.)

誌 上 発 表 Publications

[雑誌]

(原著論文) *印は査読制度がある論文

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 the O 1s core hole: Symmetry-selective resonant soft x-ray Raman scattering study", *Phys. Rev. B* **66**, 165104-1–165104-5 (2002). *

Kobayashi K., Yabashi M., Takada Y., Tokushima T., Shin S., Tamasaku K., Miwa D., Ishikawa T., Nohira H., Hattori T., Sugita Y., Nakatsuka O., Sakai A., and Zaima S.: "High resolution-high energy x-ray photoelectron spectroscopy using third-generation synchrotron radiation source, and its application to Si-high k insulator systems", *Appl. Phys. Lett.* **83**, 1005–1007 (2003). *

Gejo T., Takada Y., Hatsui T., Nagasono M., Oji H., Kosugi N., and Shigemasa E.: "Angle-resolved photoion spectroscopy of NO_2 and SO_2 ", *Chem. Phys.* **289**, 15–29 (2003). *

Ito T., Rayjada A. P., Kamakura N., Takada Y., Yokoya T., Chainani A. A., Shin S., Nohara M., and Takagi H.: "Soft x-ray energy-dependent angle-resolved photoemission study of CeIrIn_5 ", *J. Phys.: Condens. Matter* **15**, S2149–S2152 (2003). *

- Yamaoka H., Oura M., Takahiro K., Morikawa T., Ito S., Mizumaki M., Semenov S., Cherepkov N., Kabachnik N., and Mukoyama T.: “Alignment following Au L₃ photoionization by synchrotron radiation”, *J. Phys. B* **36**, 3889–3897 (2003). *
- Kawatsura K., Morikawa T., Takahiro K., Oura M., Yamaoka H., Maeda K., Hayakawa S., Ito S., Terasawa M., and Mukoyama T.: “Evolution of the K α x-ray satellites for Fe, Ni and Zn: from threshold saturation”, *J. Phys. B* **36**, 4065–4072 (2003). *
- Higuchi T., Sata N., Hattori T., Shin S., and Tukamoto T.: “Electronic structure in the band gap of protonic conductor Sr[Ce_xZr_{1-x}]_{0.95}Yb_{0.05}O₃ thin film”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.1* **42**, 5696–5697 (2003). *
- Higuchi T., Moriuchi Y., Noguchi Y., Miyayama M., Shin S., and Tukamoto T.: “Electronic structures of Bi_{4-x}La_xTi₃O₁₂ and Bi₄Zr_xTi_{3-x}O₁₂ single crystals studied by soft-X-ray spectroscopy”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.1* **42**, 6226–6229 (2003). *
- Baba D., Higuchi T., Kakemoto H., Tokura Y., Shin S., and Tukamoto T.: “Unoccupied electronic state of lightly La-doped SrTiO₃ observed by inverse-photoemission spectroscopy”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.2* **42**, L837–L839 (2003). *
- Higuchi T., Kobayashi K., Yamaguchi S., Fukushima A., Shin S., and Tukamoto T.: “Band structure of TiO₂-doped yttria-stabilized zirconia probed by soft-X-ray spectroscopy”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.2* **42**, L941–L943 (2003). *
- Higuchi T., Yamaguchi S., Sata N., Shin S., and Tukamoto T.: “Evidence of O-H bond in the bulk state of protonic conductor Y-doped SrCeO₃ by soft X-ray spectroscopy”, *Jpn. J. Appl. Phys. Pt.2* **42**, L1265–L1267 (2003). *
- Yotoriyama T., Tukamoto T., Suzuki Y., and Iwaki M.: “Formation of a super-thin film and a self-assembly cellular sheet by ion-beam irradiation”, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* **206**, 527–531 (2003). *
- Kanai T., Zhou X., Sekikawa T., Watanabe S., and Togashi T.: “Generation of subterawatt sub-10-fs blue pulses at 1-5 kHz by broadband frequency doubling”, *Opt. Lett.* **28**, 1484–1486 (2003). *
- Nakamura J., Nasubida S., Kabasawa E., Yamazaki H., Yamada N., Kuroki K., Watanabe M., Oguchi T., Lee S., Yamamoto A., Tajima S., Umeda Y., Minakawa S., Kimura N., Aoki H., Otani S., Shin S., Callcott T. A., Ederer D. L., Denlinger J. D., and Perera R. C.: “Electronic structure of B 2*p* σ and *p* π states in MgB₂, AlB₂, and ZrB₂ single crystals”, *Phys. Rev. B* **68**, 064515-1–064515-5 (2003). *
- Higuchi T., Baba D., Takeuchi T., Tukamoto T., Taguchi Y., Tokura Y., Chainani A. A., and Shin S.: “On-site Coulomb energy versus crystal-field splitting for the insulator-metal transition in La_{1-x}Sr_xTiO₃”, *Phys. Rev. B* **68**, 104420-1–104420-5 (2003). *
- Jariwala C., Chainani A. A., Tsuda S., Yokoya T., Shin S., Takano Y., Togano K., Otani S., and Kito H.: “Comparative study of the electronic structure of MgB₂ and ZrB₂”, *Phys. Rev. B* **68**, 174506-1–174506-5 (2003). *
- Ueda K., Kitajima M., Fanis A. D., Tamenori Y., Yamaoka H., Shindo H., Furuta T., Tanaka T., Tanaka H., Yoshida H., Sankari R., Aksela S., Fritzsche S., and Kabachnik N. M.: “Doppler-free resonant Raman Auger spectroscopy of Ne⁺ 2*s*2*p*⁵3*p* excited states”, *Phys. Rev. Lett.* **90**, 153005-1–153005-4 (2003). *
- Oura M., Mukoyama T., Taguchi M., Takeuchi T., Haruna T., and Shin S.: “Resonant double excitation observed in the near-threshold evolution of the photoexcited F K α satellite intensity in NaF”, *Phys. Rev. Lett.* **90**, 173002-1–173002-4 (2003). *
- Tsuda S., Yokoya T., Takano Y., Kito H., Matsushita A., Yin F., Itoh J., Harima H., and Shin S.: “Definitive experimental evidence for two-band superconductivity in MgB₂”, *Phys. Rev. Lett.* **91**, 127001-1–127001-4 (2003). *
- Tsuda S., Eguchi R., Kosuge A., Yokoya T., Fukushima A., Shin S., Chainani A. A., Otani S., Takano Y., Togano K., and Kito H.: “X-ray absorption and resonant photoemission spectroscopy of ZrB₂”, *Physica C* **392/396**, 259–262 (2003). *
- Nakajima S., Tukamoto T., Suzuki Y., Iwaki M., Hanawa T., and Yamamoto A.: “Improvement of blood compatibility of titanium with helium ion-beam irradiation”, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* **28**, 499–502 (2003). *
- Yotoriyama T., Suzuki Y., Iwaki M., and Tukamoto T.: “Surface analysis of ion-beam irradiated poly-L-lactic acid”, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* **28**, 503–506 (2003). *
- (総説)
小谷章雄: “X線発光分光の理論”, *放射光* **16**, 287–295 (2003).
- [単行本・Proc.]
(その他)
Aoyagi H., Michizuki T., Oura M., Sakurai Y., Sano M., Takahashi S., and Kitamura H.: “Alignment of photon beamline components of the SPring-8 front end”, *Proc. 7th Int. Workshop on Accelerator Alignment (IWAA 2002)*, Harima, 2002–11, IWAA, Harima, pp. 280–287 (2002).
- Sasao M., Matsumoto Y., Mendenilla A., Nishiura M., Shinto K., Wada M., and Yamaoka H.: “Reflection and ionization of light atoms from complex-Mo surface”, *Proc. 30th EPS Conf. on Controlled Fusion and Plasma Physics (Europhysics Conf. Abstracts Vol.27A)*, St. Petersburg, Russia, 2003–7, edited by Koch R. and Lebedev S., European Physical Society, Geneva, pp. P2-161-1–P2-161-4 (2003).
- 口頭発表 Oral Presentations
(国際会議等)
Yokoyama Y., Tukamoto T., Kobayashi T., and Iwaki

- M.: "Immobilization of collagen by ion bombardment", 13th Int. Conf. on Ion Beam Modification of Materials (IBMM 2002), (The Japan Society of Applied Physics), Kobe, Sept. (2002).
- Kotani A.: "Resonant X-ray emission and its magnetic circular dichroism of rare earth systems: electric dipole and quadrupole excitations", PICS-2003: High Energy Spectroscopies in d and f Electron Systems: Experiment and Theory, Paris, France, June (2003).
- Tokushima T., Harada Y., Nagasono M., Takada Y., Kitajima Y., Hiraya A., and Shin S.: "Electric structure of $\text{SO}_2/\text{Ni}(100)$ observed by soft x-ray emission spectroscopy", 9th Int. Conf. on Electronic Spectroscopy & Structure (ICESS 9), Uppsala, Sweden, June-July (2003).
- Kotani A.: "Theoretical aspects of resonant X-ray emission spectroscopy", 9th Int. Conf. on Electronic Spectroscopy & Structure (ICESS 9), Uppsala, Sweden, June-July (2003).
- Yamaoka H., Oura M., Takahiro K., Morikawa T., Ito S., Mizumaki M., Semenov S., Cherepkov N., Kabachnik N., and Mukoyama T.: "Alignment of inner-shell vacancy following Au L_3 photoionization by synchrotron radiation", 23rd Int. Conf. on Photonic Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2003), Stockholm, Sweden, July (2003).
- Oura M., Yamaoka H., Takahiro K., Kawatsura K., Zou Y., and Hutton R.: "Coster-kronig transition effect on the $L_L/L\alpha$ x-ray intensity ratio of Xe following photoionization near the L_2 absorption edge", 23rd Int. Conf. on Photonic Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2003), Stockholm, Sweden, July (2003).
- Kitajima M., Fanis A. D., Tamenori Y., Yamaoka H., Shindo H., Furuta T., Tanaka T., Tanaka H., Yoshida H., Sankari R., Aksela S., Fritzsche S., Kabachnik N. M., and Ueda K.: "Doppler-free resonant raman auger spectroscopy of Ne^+2s2p^53p excited states", 23rd Int. Conf. on Photonic Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2003), Stockholm, Sweden, July (2003).
- Zou Y., Oura M., Yamaoka H., Hutton R., Kawatsura K., Takahiro K., and Takeshima N.: "Electron correlation effects on L x-rays following photoionization", 23rd Int. Conf. on Photonic Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2003), Stockholm, Sweden, July (2003).
- Yamaoka H., Takahiro K., Morikawa T., Kawatsura K., Oura M., Vlaicu M. A., Ito Y., and Mukoyama T.: "K β emission spectroscopy for Fe, Fe_2O_3 and Fe_3O_4 at near the K-absorption edge", 23rd Int. Conf. on Photonic Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2003), Stockholm, Sweden, July (2003).
- Oura M., Takeuchi T., Mukoyama T., Taguchi M., and Shin S.: "Study of the multielectron processes in ionic fluorine compounds by means of soft x-ray absorption and emission spectroscopies", 23rd Int. Conf. on Photonic Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2003), Stockholm, Sweden, July (2003).
- Oura M., Tamenori Y., Hayaishi T., Yoshii H., Tsukamoto K., and Koike F.: "Study of the resonant auger emission from the doubly excited $1s^{-1}2p^{-1}nln'l$ states of Ne atoms by high-resolution angle-resolved electron spectroscopy", 23rd Int. Conf. on Photonic Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2003), Stockholm, Sweden, July (2003).
- Sasao M., Matsumoto Y., Mendenilla A., Nishiura M., Shinto K., Wada M., and Yamaoka H.: "Reflection and ionization of light atoms from complex-Mo surface", 30th EPS Conf. on Controlled Fusion and Plasma Physics, St. Peterburg, Russia, July (2003).
- Aoyagi H., Mochizuki T., Sakurai Y., Sano m., Takahashi S., Oura M., and Kitamura H.: "Alignment of photon beamline components in the SPring-8 front ends", 8th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2003), (Stanford Synchrotron Radiation Laboratory and The Advanced Light Source), San Francisco, USA, Aug. (2003).
- Takahashi S., Sano m., Oura M., and Kitamura H.: "Development of the volumetric heating mask for SPring-8 front ends", 8th Int. Conf. on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2003), (Stanford Synchrotron Radiation Laboratory and The Advanced Light Source), San Francisco, USA, Aug. (2003).
- Ishikawa T., Tamasaku K., Ueda T., and Ohashi H.: "Can synthetic diamond crystals preserve x-ray coherence?", SPIE's 48th Ann. Meet., Int. Symp. on Optical Science and Technology, San Diego, USA, Aug. (2003).
- Nishino Y., Ohashi H., and Ishikawa T.: "Stability issues of the use of coherent x-rays", SPIE's 48th Ann. Meet., Int. Symp. on Optical Science and Technology, San Diego, USA, Aug. (2003).
- Matsumoto Y., Matsuoka K., Sasao M., Wada M., and Yamaoka H.: "Contribution of H^- density near a plasma grid surface in an H^- beam extracted from a cs added volume production type ion source", 10th Int. Conf. on Ion Sources (ICIS 2003), Dubna, Russia, Sept. (2003).
- Yotoriyama T., Suzuki Y., Mise T., Tukamoto T., and Iwaki M.: "The depth profile of ion-beam irradiated biodegradable polymer", 13th Int. Conf. on Surface Modification of Materials by Ion Beams (SMMIB03), San Antonio, USA, Sept. (2003).
- Yokoya T., Shimojima T., Chainani A. A., Takada Y., Tsuda S., Takeuchi T., Kamakura N., Kanetaka F., Kiss T., Fukushima A., Shin S., Tamasaku K., Nishino Y., Ishikawa T., Kobayashi K., Namatame H., Taniguchi M., Takada K., Sasaki T., Sakurai H., and Muromachi E.: "Electronic structure of the superconducting layered oxide $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ using hard X-ray photoemission spectroscopy", Int. Workshop on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES), (ESRF), Grenoble, France, Sept. (2003).

- Kotani A.: “Resonant photoemission of 3d core level by 2p electron excitation in mixed valence Ce compounds and some related spectroscopies”, Int. Workshop on Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES), (ESRF), Grenoble, France, Sept. (2003).
- Chainani A. A., Kamakura N., Takada Y., Yokoya T., Taguchi M., Shimojima T., Tokushima T., Harada Y., Tsuda S., Shin S., Tamasaku K., Nishino Y., Ishikawa T., Kobayashi K., Namatame H., Taniguchi M., Takada K., Sasaki T., Sakurai H., and Muromachi E.: “High energy PES of Ni(100) and $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ ”, 4th Korea-Japan Workshop on Strongly Correlated Systems and 1st Japan-Korea-Taiwan Workshop on Condensed Matter Physics, (JSPS, KOSEF, and others), Nagano, Sept. (2003).
- Ono Y., Tukamoto T., Yotoriyama T., Suzuki Y., Takahashi N., Iwaki M., Ujiie H., and Hiro T.: “Ion implantation into ePTFE for therapy of broad-based brain aneurysms”, 8th IUMRS Int. Conf. on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2003), (The Materials Research Society of Japan), Yokohama, Oct. (2003).
- Kotani A.: “Theory of resonant inelastic x-ray scattering in d and f electron systems”, 11th Users’ Meet., Satellite Workshop on Resonant X-ray Scattering and Electronic Structure, (International Atomic Energy Agency), Trieste, Italy, Dec. (2003).
- Kotani A.: “Theory of resonant inelastic X-ray scattering in d and f electron systems”, JAERI Int. Workshop on X-ray Scattering and Electronic Structure, Harima, Dec. (2003).
- (国内会議)
- 小島隆夫, 陳帆夫, 北島昌史, 小泉哲夫, 中井陽一, 山岡人志, 渡部直樹: “ Eu^{+} イオンの 4d 巨大共鳴における多ピーク構造の観測”, 日本物理学会第 58 回年次大会, 仙台, 3 月 (2003).
- 世取山翼, 塚本桓世, 鈴木嘉昭, 岩木正哉, 山本玲子, 塙隆夫: “イオンビーム照射を利用した生分解性高分子表面の微細加工”, 第 52 回高分子学会年次大会, 名古屋, 5 月 (2003).
- 森川司, 山岡人志, 大浦正樹, 寺井睦, 高廣克己, 川面潔, 向山毅: “ $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Fe}_3\text{O}_4$ における K 吸収端近傍の $K\beta$ X 線発光スペクトルとサイト選択 $K\beta$ 吸収スペクトル”, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 宮崎, 岡山, 9 月 (2003).
- 田口宗孝, 小谷章雄: “Mn/Ag 系における X 線光電子分光, X 線吸収分光, 共鳴 X 線発光分光の理論”, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 宮崎, 岡山, 9 月 (2003).
- 徳島高, 原田慈久, 高田恭孝, 北島義典, 平谷篤也, 辛埴: “Ni(100) に吸着した SO_2 分子の軟 X 線発光分光”, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 宮崎, 岡山, 9 月 (2003).
- Chainani A. A., 鎌倉望, 田口宗孝, 伊藤孝寛, 竹内智之, Pratipalsinh R., 高田恭孝, 横谷尚睦, 辛埴, 野原実, 高木英典: “Resonant photoemission spectroscopy of CeCoIn_5 ”, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 宮崎, 岡山, 9 月 (2003).
- 竹内智之, 原田慈久, 徳島高, 池永英司, 高田恭孝, 小林啓介, 塚本桓世, 辛埴, 山本哲也, 金正鎮, 牧野久雄, 八百隆文: “希薄磁性半導体 $\text{Ga}_{1-x}\text{Cr}_x\text{N}$ の N1s 軟 X 線発光, 吸収分光”, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 宮崎, 岡山, 9 月 (2003).
- 大浦正樹, 為則雄祐, 早石達司, 金井保之, 吉井裕, 町田雅武, 小池文博: “ $\text{Ne}[1s2p]^{(3,1)p}3p^2$ 共鳴二重励起状態からの角度分解オージェ電子分光”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 室隆柱之, 斎藤祐児, 木村洋昭, 松下智裕, 中谷健, 竹内政雄, 広野等子, 工藤統吾, 中村哲也, 脇田高德, 小林啓介, 原徹, 白澤克年, 北村英男: “SPRING-8 BL25SU における円偏光スイッチングを用いた磁気円二色性測定”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 町田雅武, 為則雄祐, 大浦正樹: “気相フッ化物における多電子励起過程の研究: CF_4 ”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 齋藤則生, 名越充, Fanis A. D., 藤原克利, 千葉寿, 山岡人志, 大浦正樹, 為則雄祐, 町田雅武, 小谷野猪之助, 上田潔: “光電子イオン多重同時計測運動量分光法による NO_2 の N1s イオン化領域における形状共鳴の研究”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 山本和矢, 鎌倉望, 田口宗孝, Chainani A. A., 高田恭孝, 堀場弘司, 辛埴, 池永英司, 三村功次郎, 志賀正幸, 和田裕文, 生天目博文, 谷口雅樹, 淡路晃弘, 玉作賢治, 石川哲也, 小林啓介: “硬 X 線による $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.20}\text{Ge}_{0.80})_2$ の内殻光電子分光”, 第 17 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, つくば, 1 月 (2004).
- 堀場弘司, 田口宗孝, 鎌倉望, 山本和矢, Chainani A. A., 高田恭孝, 池永英司, 生天目博文, 谷口雅樹, 淡路晃弘, 竹内晃久, 玉作賢治, 石川哲也, 組頭広志, 尾嶋正治, Lippmaa M., 川崎雅司, 鯉沼秀臣, 小林啓介, 辛埴: “硬 X 線を用いた $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 薄膜の Mn2p 内殻光電子分光”, 日本物理学会第 59 回年次大会, 福岡, 3 月 (2004).
- 竹内智之, 原田慈久, 徳島高, 高田恭孝, Chainani A. A., 塚本桓世, 小林啓介, 辛埴, 山本哲也, 金正鎮, 牧野久雄, 八百隆文: “希薄磁性半導体 $\text{Ga}_{1-x}\text{Cr}_x\text{N}$ の Cr2p 励起軟 X 線発光, 吸収分光”, 日本物理学会第 59 回年次大会, 福岡, 3 月 (2004).
- 山岡人志, 大浦正樹, 高廣克己, 森川司, 寺井睦, 川面澄, 伊藤眞, 水牧仁一郎, 向山毅: “光イオン化にともなう起きるアライメントに及ぼすコスター・クローニッヒ遷移の影響”, 日本物理学会第 59 回年次大会, 福岡, 3 月 (2004).