

極限コヒーレント光科学研究センター

Laser and Synchrotron Research Center

極限コヒーレント光科学研究 (LASOR) センターでは、超精密レーザーや極短パルス、大強度レーザーなどの極限的なレーザーを開発すると共に、シンクロトロン放射光を用いた先端軟 X 線ビームラインを開発している。テラヘルツから真空紫外線、軟 X 線までの広いエネルギー範囲の極限的な光源を用いて、超高分解能光電子分光、時間分解分光、スピン偏極分光、顕微分光、回折や光散乱、イメージング、発光分光などの新しい最先端分光計測を開発している。一方、これらの極限的な光源や分光手法を用いて半導体、強相関物質、有機物質、生体物質、表面、界面などの幅広い物性研究とその共同利用を行っている。LASOR センターは、先端的な光科学とそれを用いた物質科学との共同研究、共同利用を目指す総合的なセンターである。柏キャンパスにおいては、大規模なクリーンルームと除振床を設置した先端分光実験棟(D 棟) 及び、真空紫外軟 X 線レーザーの物性研究利用を主目的とした極限光科学棟 (E 棟) を有し、光源開発とそれを用いた物性研究を行っている。兵庫県にある SPring-8 においてはシンクロトロン放射光を用いたビームライン BL07 において軟 X 線分光の研究を行っている。

Laser and Synchrotron Research (LASOR) Center develops new lasers with extreme performance of ultra-precise, high intensity and ultra-short pulse lasers. The cutting edge soft X-ray beamline is also developed using synchrotron radiation. LASOR center is responsible for the advanced spectroscopy, such as ultra-high resolution photoemission, time-resolved, spin-resolved spectroscopy, diffraction, light scattering, imaging, microscopy and fluorescence spectroscopy, by new coherent light sources based on laser and synchrotron technology over a wide spectrum range from terahertz to X-ray. In LASOR center, a variety of materials sciences for semiconductors, strongly-correlated materials, molecular materials, surface and interfaces, and bio-materials are studied using advanced light sources and advanced spectroscopy. The aim of LASOR center is synthetic science for photon sciences and collaborations with materials science. Most of the research activities on the development of new lasers with an extreme performance and the application to material science are studied in specially designed buildings D and E with large clean rooms and the isolated floor in Kashiwa Campus. On the other hand, the experiments utilizing the synchrotron radiation are performed at beamline BL07 in SPring-8 (Hyogo).

教授 Professor	末元 徹 SUEMOTO, Tohru	助教 Research Associate	藤澤 正美 FUJISAWA, Masami	技術専門員 Technical Associate	福島 昭子 FUKUSHIMA, Akiko	特任研究員 Project Researcher	金 昌秀 KIM, Changsu
教授(センター長) Professor (Director)	辛 埴 SHIN, Shik	助教 Research Associate	白澤 徹郎 SHIRASAWA, Tetsuroh	技術専門職員 Technical Associate	金井 輝人 KANAI, Teruto	特任研究員 Project Researcher	樋山 みやび HIYAMA, Miyabi
教授(副センター長)* Professor (Deputy Director)	小森 文夫 KOMORI, Fumio	助教 Research Associate	山本 達 YAMAMOTO, Susumu	技術専門職員 Technical Associate	澁谷 孝 SHIBUYA, Takashi	特任研究員 Project Researcher	ガイゼラヨスト ヘニング GEISELER, Jost Henning
准教授 Associate Professor	秋山 英文 AKIYAMA, Hidefumi	助教 Research Associate	石田 行章 ISHIDA, Yukiaki	技術専門職員 Technical Associate	原沢 あゆみ HARASAWA, Ayumi	特任研究員 Project Researcher	玄 洪文 XUAN, Hongwen
准教授 Associate Professor	松田 巖 MATSUDA, Iwao	助教 Research Associate	矢治 光一郎 YAJI, Kohichiro	技術専門職員 Technical Associate	工藤 博文 KUDO, Hirofumi	特任研究員 Project Researcher	趙 智剛 ZHAO, Zhigang
准教授 Associate Professor	小林 洋平 KOBAYASHI, Yohei	助教 Research Associate	石井 順久 ISHII, Nobuhisa	技術専門職員 Technical Associate	橋本 光博 HASHIMOTO, Mitsuhiro	特任研究員 Project Researcher	シルヴァ アリサ SILVA, Alissa
准教授 Associate Professor	板谷 治郎 ITATANI, Jiro	助教 Research Associate	宮脇 淳 MIYAWAKI, Jun	技術専門職員 Technical Associate	伊藤 功 ITO, Isao	特任研究員 Project Researcher	丹羽 秀治 NIWA, Hideharu
准教授 Associate Professor	原田 慈久 HARADA, Yoshihisa	助教 Research Associate	谷 峻太郎 TANI, Shuntaro	特任研究員 Project Researcher	西谷 純一 NISHITANI, Junichi	特任研究員 Project Researcher	田久保 耕 TAKUBO, Kou
准教授 Associate Professor	和達 大樹 WADATI, Hiroki	助教 Research Associate	平田 靖透 HIRATA, Yasuyuki	特任研究員 Project Researcher	谷内 敏之 TANIUCHI, Toshiyuki	特任研究員 Project Researcher	崔 芸涛 CUI, Yitao
准教授 Associate Professor	近藤 猛 KONDO, Takeshi	助教 Research Associate	挟間 優治 HAZAMA, Yuji	特任研究員 Project Researcher	マラエブ ワリド MALAEB, Walid	特任研究員 Project Researcher	冯 宝杰 FENG, Baojie
特任准教授 Project Associate Professor	岡崎 浩三 OKAZAKI, Kozo	助教 Research Associate	黒田 健太 KURODA, Kenta	特任研究員 Project Researcher	バレイユ セドリック BAREILLE, Cedric	特任研究員 Project Researcher	朱 琳 ZHU, Lin
教授(客員) Visiting Professor	田中 耕一郎 TANAKA, Koichiro	特任助教 Project Research Associate	渡邊 浩 WATANABE, Hiroshi	特任研究員 Project Researcher	大田 由一 OTA, Yuuichi	特任研究員 Project Researcher	山本 貴士 YAMAMOTO, Takashi
教授(客員) Visiting Professor	田中 良和 TANAKA, Yoshikazu			特任研究員 Project Researcher	吉田 正裕 YOSHITA, Masahiro		

* ナノスケール物性研究部門と併任 / concurrent with Division of Nanoscale Science

末元研究室

Suemoto Group



末元 徹
SUEMOTO, Tohru
教授
Professor



渡邊 浩
WATANABE, Hiroshi
特任助教
Project Research Associate

パルスレーザー光源を用いた分光法は、固体における非常に高速の現象を研究するために必須である。可視から近赤外領域で発展した超高速技術は、赤外やテラヘルツの長波長領域、紫外や軟 X 線といった短波長領域へと拡張が進んでいる。当研究室では、テラヘルツから軟 X 線にいたる波長領域で各種の短パルス光源を使い、無機酸化物、有機錯体から生体分子にいたる幅広い物質群において、励起状態およびそのダイナミクスを研究している。この目的を達成するために、主な手法として可視赤外領域における過渡吸収・反射分光、フェムト秒時間分解発光分光、テラヘルツ波時間領域分光、時間分解軟 X 線干渉計測などを開発し用いている。

現在、電子格子緩和、磁気秩序、光誘起相転移など興味ある現象をダイナミクスの視点から研究している。和周波ゲートによる発光の時間分解により、原子の波束形状の時間発展、分裂現象などを超高速で追跡している。また、テラヘルツ電磁波をプローブとして用いたポンプ・プローブ時間分解分光法の開発を進め、光誘起現象やスピン共鳴のダイナミクスの研究を行っている。

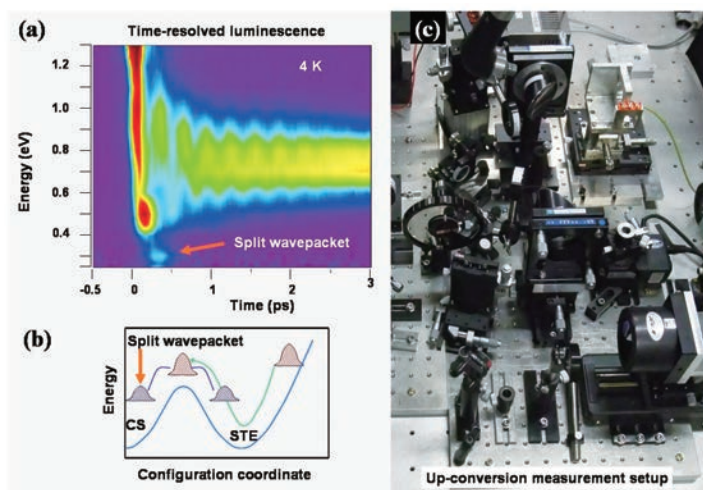
Optical methods based on pulsed lasers are indispensable for investigation of ultrafast phenomena in solids.

While, the ultrafast technique has been developed mainly in the visible and near infrared region, the spectral range is growing to long wavelength (mid infrared, terahertz) and short wavelength (EUV, soft X-ray), recently. Our group is engaged in investigation of excited states and their dynamics in various materials i.e., inorganic oxides, organic complexes and bio-molecules, taking full advantage of the pulsed light sources from THz to soft X-ray region.

For this purpose, we developed transient absorption/reflection spectroscopy in visible and infrared regions, femtosecond luminescence spectroscopy, terahertz time-domain spectroscopy, and soft-X-ray time-resolved interferometry.

Our main interest is the dynamics of electron-lattice relaxation, magnetic ordering, and photoinduced phase transitions.

Wavepacket dynamics of the atoms in solids is investigated by luminescence up-conversion method and the time development of the wavepacket shape and splitting phenomena are observed. Terahertz pump-and-probe method is developed and applied to photoinduced phase transitions and spin related phenomena to study their dynamical behavior.



(a) 擬 1 次元白金錯体 (Pt-Br 系) における自己束縛励起子発光の時間応答から得られた波束のムービー。縦軸 (エネルギー) は原子の変位に相当しており、波束が減衰振動を行うと同時に 300fs 付近で分裂している様子がわかる (赤矢印)。(b) 断熱ポテンシャル面上での波束運動。右上から出発した波束がポテンシャル障壁の頂上で 2 方向に分裂する。(c) フェムト秒時間分解発光測定装置の中心部分。

(a) Movie of the wavepacket taken for the self-trapped excitons in quasi-one-dimensional Pt complex (Pt-Br) by means of time-resolved luminescence. Ordinate (energy) corresponds to the deviation of the atoms from the equilibrium position. The damped oscillation and a splitting of the wave-packet at 300 fs are clearly seen. (b) Wave-packet motion on an adiabatic potential energy surface. The wave-packet proceeds to the left and splits on top of the potential energy barrier. (c) The central part of the femtosecond luminescence measurement optics.

研究テーマ Research Subjects

1. 超高速発光分光による波束運動の実時間観測とアトミック・ムービー
Atomic movie based on ultrafast luminescence spectroscopy
2. 時間分解赤外・テラヘルツ分光法による光誘起相転移とスピン秩序のダイナミクス
Dynamics of photoinduced phase transitions and spin ordering by time-resolved infrared and terahertz spectroscopy
3. 軟 X 線干渉計による固体表面形状の時間分解観測
Time-resolved observation of surface morphology by a soft X-ray interferometer

極限コヒーレント光科学研究センター

Laser and Synchrotron Research Center

http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/shin_group.html

辛研究室

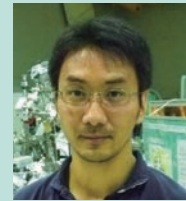
Shin Group



辛 埴
SHIN, Shik
教授
Professor



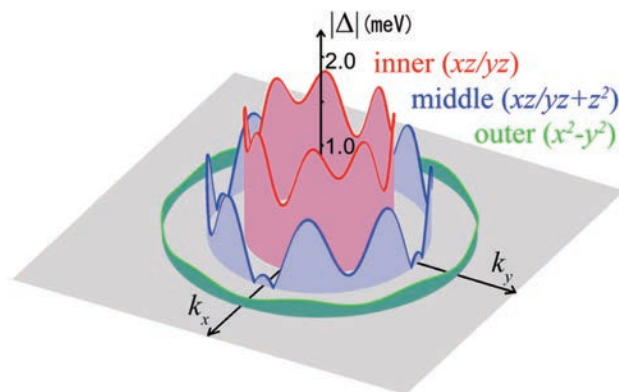
白澤 徹郎
SHIRASAWA, Tetsuroh
助教
Research Associate



石田 行章
ISHIDA, Yukiaki
助教
Research Associate

紫外光から軟 X 線レーザーの特長を利用した光電子分光を開発しながら物性研究を行うことに力を入れている。光電子分光は固体電子が持つエネルギー、運動量、時間、場所、スピンの全ての情報を知ることができる実験方法である。

レーザーの持つ単色性を利用して新たに開発されたレーザー光電子分光は 70 μeV のエネルギー分解能を有し、世界最高である。超伝導体や強相関物質のギャップや擬ギャップ等を観測し、輸送現象に直接関係した電子状態を運動量空間で知ることができる。また、固体中のフォノンやマグノン等の固体中の素励起との結合を知ることできる。一方、レーザーのパルス的時間特性を利用してフェムト秒領域の時間分解光電子分光法を行っている。超伝導体、遷移金属化合物、有機物、半導体などの光誘起現象を研究している。また、レーザーの持つ大強度や微小スポットサイズを利用してナノ構造の電子状態を知る顕微光電子分光を行っている。STM にせまるようなナノメートル領域の空間分解能を目指している。

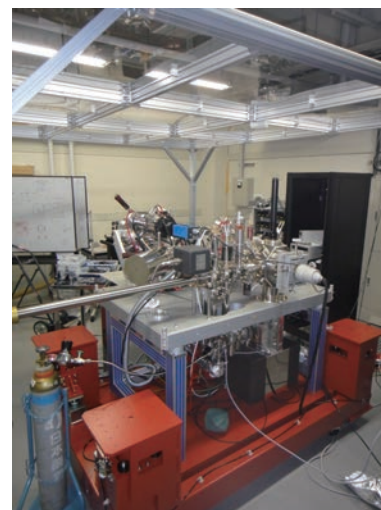


超高分解能レーザー光電子分光法により解明された鉄系超伝導体 KFe_2As_2 の異方的な超伝導ギャップ構造。超伝導転移温度は 3.4 K である。(Okazaki *et al.*, Science (2012))

Anisotropic superconducting gap structure of the iron-pnictide superconductor KFe_2As_2 revealed by ultra-high-resolution laser photoemission spectroscopy. The critical temperature is 3.4 K.

We are investigating the properties of materials through photoemission spectroscopy implemented by lasers in the vacuum-ultraviolet to soft-x-ray region. Photoelectrons carry the complete information of the electrons in solids, namely, their energy, momentum, time, space, and spin.

The photoemission spectrometer utilizing the monochromatic laser achieves the energy resolution of 70 μeV , which is the highest in the world. This enables us to directly observe the superconducting gaps and pseudo-gaps of novel superconductors and strongly-correlated materials, as well as the momentum-resolved electronic structures that are closely related to the transport properties of solids. We can also reveal the electron-phonon or -magnon interactions in solids. We are also performing time-resolved photoemission spectroscopy in order to know the photo-induced phenomena in superconductors, transition metal compounds, organic materials, and semiconductors. Furthermore, we are now developing photoelectron microscope in order to know the nano electronic structure in solids. Our aim is to have the nanometer size microscopy of electronic states.



2. 6 ナノメートルの超高空間分解能を持つレーザー光電子顕微鏡 (レーザー PEEM)

Laser Photoelectron microscopy (Laser PEEM) that has an ultrahigh spatial resolution of 2.6nm.

研究テーマ Research Subjects

1. 軟 X 線レーザー極超高分解能光電子分光による超伝導体、低次元物質、新物質等の電子状態の研究
Ultra-high resolution laser-photoemission study on the superconductors and the low dimensional materials
2. 軟 X 線レーザー時間分解光電子分光による光誘起現象の研究
Time-resolved laser-photoemission study on the photo-induced phenomena
3. 軟 X 線レーザー光電子顕微鏡によるナノ構造の電子状態の研究
Laser photoelectron microscopy on the electronic states of nanomaterials

極限コヒーレント光科学研究センター

Laser and Synchrotron Research Center

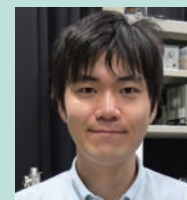
http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/akiyama_group.html

秋山研究室

Akiyama Group



秋山 英文
AKIYAMA, Hidefumi
准教授
Associate Professor



挟間 優治
HAZAMA, Yuji
助教
Research Associate

半導体量子ナノ構造の光物性や、ヘテロ構造・ナノ構造に基づく半導体レーザーや太陽電池のデバイス物理、ホタル生物発光の生物物理などを、レーザー分光・顕微分光・光学計測技術を用いて研究している。

半導体レーザーに対して、最大定格を大きく超える励起を短時間だけ加え、極端非平衡状態を生み出し、フェムト秒短パルス発生限界を迫る研究を行っている。人工衛星用高品質 III-V 族半導体タンデム太陽電池の損失機構を調べ、変換効率限界を物理的に理解するデバイス物理研究も行っている。また、世界一細くかつ均一で制御性の高い半導体量子細線レーザーを作製し、量子力学的な光学物性、低次元性、電子正孔系多体問題、半導体レーザー物理、結晶成長、物質科学など様々な興味から研究を行っている。

光学実験技術として、微細なナノ構造の発光を高感度に検出する技術、絶対量を定量計測する技術、ナノ構造の透過吸収を計測する技術、顕微分光や画像計測の技術、ソリッドイメージング顕微技術などを開発している。さらに、それらの技術を応用し、ホタルやクラゲやウミホタルの生物発光やミノール化学発光などを、生物学・化学・理論の専門家や民間会社と共同で研究している。

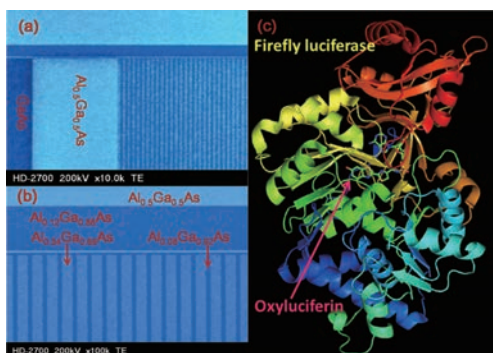
Advanced laser spectroscopy on the basis of lasers and microscopy is developed and applied to semiconductor quantum wires and other nano-structures, in order to understand and control their optical properties quantum mechanically.

Femto-second pulse generation directly from gain-switched semiconductor lasers is studied intensively to understand the pulse dynamics and the shortest-pulse limit. High-quality III-V-semiconductor tandem solar cells and their internal loss rates and mechanisms are also studied. We make the world thinnest and cleanest quantum-wire semiconductor lasers that have superior laser performances such as low threshold currents. Experimental findings and problems provide us fruitful physics subjects related to 1D physics, many-body physics, lasers, solar cells, crystal growth, material science, and semiconductor device physics and engineering.

We are developing experimental techniques such as sensitive luminescence detection, absolute luminescence-yield measurements, transmission/absorption measurements of single nano-structures, micro-spectroscopy, imaging, and solid-immersion microscopy. Some of these techniques have been applied to study of bioluminescence of fireflies, jelly fish, and sea fireflies as well as luminol chemiluminescence.

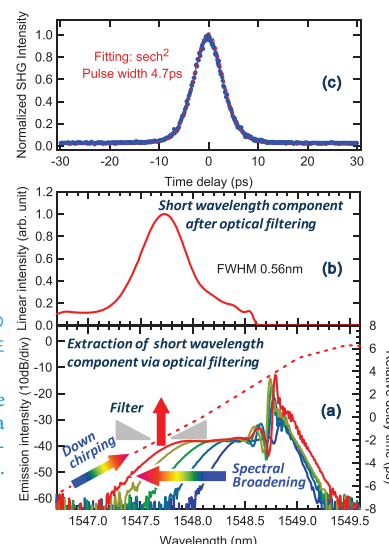
100 周期 T 型量子細線レーザー (a,b) とホタルシフェラーゼ (c) の構造

Nano-structures of a 100 T-shaped quantum-wire laser (a,b) and firefly luciferase protein (c).



半導体レーザーからの 4.7 ps パルス直接発生実験

Direct 4.7 ps pulse generation from a gain-switched semiconductor laser diode.



研究テーマ Research Subjects

1. 利得スイッチング半導体レーザーおよび太陽電池のデバイス物理
Device physics of gain-switched semiconductor lasers and solar cells
2. 高品質半導体量子細線および井戸における低次元電子正孔キャリアの多体相関と非平衡性
Many-body interactions and non-equilibrium properties of low-dimensional electron-hole systems in clean semiconductor quantum wires and wells
3. 半導体量子構造およびデバイスの作製、高品質化、構造評価、顕微分光計測、画像計測
Material physics and development of high-quality semiconductor nano-structures via microscopy
4. ホタル・クラゲ・ウミホタルなどの生物発光と生物化学発光計測標準
Bioluminescence of firefly, jelly fish, sea firefly, etc. and bio/chemiluminescence measurement standards

松田巖研究室

I. Matsuda Group



松田 巖
MATSUDA, Iwao
准教授
Associate Professor



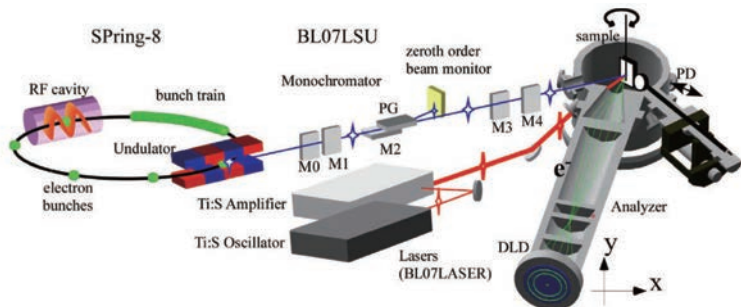
山本 達
YAMAMOTO, Susumu
助教
Research Associate

高輝度放射光 (SPring-8 など)、X線自由電子レーザー、HHG レーザーを用いた時間分解真空紫外線 (VUV) ~軟 X線 (SX) 分光実験の技術開発を行い、これらを用いて表面・界面系を中心に物質のダイナミクス研究を行っている。

触媒反応や起電力発生など、表面・界面系におけるキャリア及び分子の動的変化を研究することは実社会の技術開発にとって重要である。また表面・界面系は物質系そのものが2次元であるため低次元電子系の研究場としても貴重であり、低次元特有の現象も豊富に存在する。本研究室では、物質の電子状態、化学状態、スピン状態を直接調べることができる VUV ~ SX 光電子分光や X線吸収分光の時間分解測定を行う。フェムト秒からミリ秒まで、各時間スケールでの動的変化をリアルタイムで追跡してその詳細を明らかにすると共に、時系列情報をつなぎ合わせて各動的現象の全貌も理解する研究を推進している。

Dynamics in materials, mainly the surface/interface systems, are studied with developing experimental techniques for time-resolved vacuum ultraviolet (VUV) ~soft X-ray (SX) spectroscopy with high brilliance synchrotron radiation (e.g. SPring-8), X-ray free electron laser, and HHG laser.

Roles of carrier and molecule dynamics at the surface/interface systems are significant in voltaic effects and catalytic reactions, for examples, that are necessary for our social technology. Moreover, the surface/interface system is intrinsically two-dimensional and it has been a valuable playground for low-dimensional physics. In our laboratory, we carry out time-resolved measurements of photoemission and X-ray absorption spectroscopy to directly probe temporal evolutions of electronic, chemical, and spin states of materials during such dynamical phenomena. We reveal their detailed mechanisms at each time scale, ranging from femtoseconds to milliseconds, and promote understanding of the whole picture by combining the sequential information.

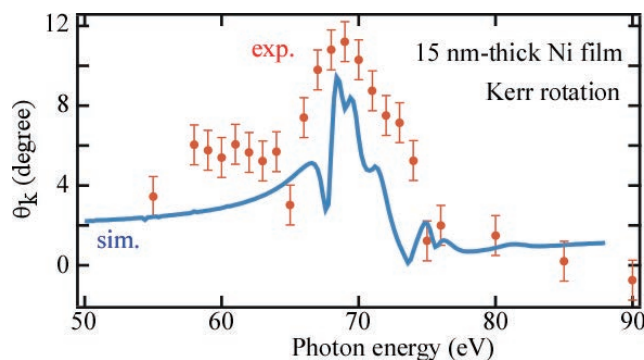


高輝度軟 X線ビームライン SPring-8 BL07LSU における放射光と超短パルスレーザー (BL07LASER) を組み合わせた時間分解光電子分光実験システムの様子。

Overview of the time-resolved photoemission system at high-brilliant soft X-ray beamline, SPring-8 BL07LSU. Synchrotron radiation pulses, generated at an undulator, pass through a monochromator that is composed of mirrors (M) and a plane-grating (PG). A Ti:Sapphire laser system (BL07LASER) is installed at the beamline.

Ni ナノ薄膜の共鳴磁気光学カー効果の光エネルギー依存性。光エネルギーを Ni M 殻吸収端に合わせると巨大な磁気光学カー回転角が観測され (exp.)、共鳴散乱理論の計算で再現することができる (sim.)。元素選択性と巨大な信号強度を発生するこの共鳴磁気光学現象は今後のスピンドイナミクス研究での活躍が期待される。

Resonant magneto-optical Kerr effect on a Ni nanofilm taken at various photon energy. When photon energy is tuned at the Ni M-shell absorption edge, giant magneto-optical Kerr angle was observed (exp.) and it was reproduced by simulation (sim.) based on the resonant X-ray scattering theory. It is expected that this resonant magneto-optical Kerr effect with element selectivity and large signal generation plays significant roles in researches in spin dynamics.



研究テーマ Research Subjects

1. 時間分解軟 X線分光実験の開発と表面ダイナミクスの研究
Developments of time-resolved soft X-ray spectroscopy and researches on surface dynamics
2. 光電子分光実験による金属および半導体表面・界面の電子状態の研究
Electronic structures of metal and semiconductor surfaces studied by means of photoelectron spectroscopy
3. 超短パルス軟 X線を用いた時間分解実験の開発と超高速スピンドイナミクスの研究
Development of time-resolved experiments using ultra-short soft X-ray pulses and researches on ultrafast spin dynamics

極限コヒーレント光科学研究センター

Laser and Synchrotron Research Center

http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kobayashi_group.html

小林研究室

Kobayashi Group

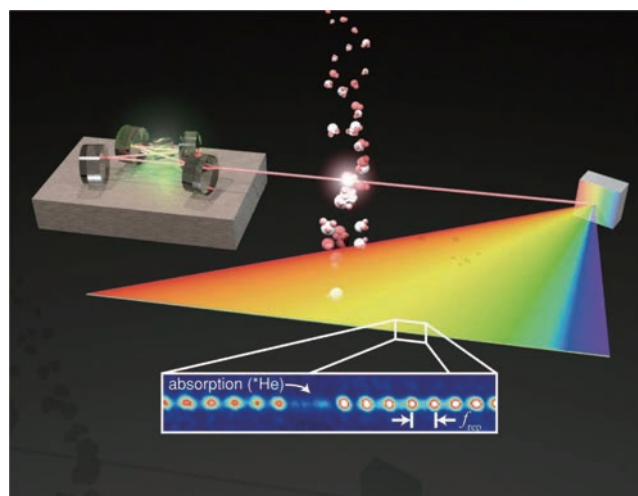


小林 洋平
KOBAYASHI, Yohei
准教授
Associate Professor



谷 峻太郎
TANI, Shuntaro
助教
Research Associate

最先端レーザーの研究開発とその応用を行っている。超短パルスレーザーと超狭帯域レーザーとの融合領域である光周波数コムの開発とその応用を中心に研究する。特に Yb ドープセラミックやファイバーといった新しいレーザーにより超高繰り返しで超高平均パワーのレーザーシステムを開発している。超高繰り返しでの方向性では縦モード一本ずつが分離できるレーザーを開発し、フェムト秒レーザーから縦モードを抜き出すことにより cw レーザーを作り出すことのできるようになってきた。また、超高平均パワーのフェムト秒レーザーでは外部共振器を用いることにより数 kW の平均パワーを実現し、高輝度コヒーレント真空紫外光を発生し、新たな分光法の研究を行っている。応用としては光電子分光、光原子時計、天文応用、医療応用と幅広い。

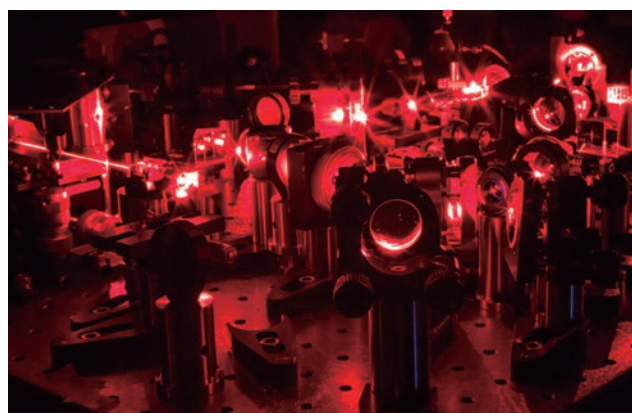


光周波数コムによる原子分光。自作超高エネルギー分解分光器と超高繰り返しモード同期レーザーとの組み合わせにより縦モード1本ずつが分離された分光が可能となった。図はメタステーブル He の縦モード分解分光の例。

Optical frequency comb based ultra-high precision spectroscopy. The combination of ultra-high repetition-rate laser and ultra-high resolution spectrograph makes it possible to resolve each comb tooth to detect the metastable He atom.

We are studying advanced laser technologies and their applications. Both ultimate technologies of ultrashort pulse generations and ultra narrow-band laser generations were mixed, the optical frequency comb then was born. It opened up a new research area such as carrier-envelope-phase dependent phenomena, attosecond physics, and precision spectroscopy by using a femtosecond light source. It also realized the high-repetition and high-intensity physics. It could create wide field of applications in the physics, metrology, medical science, and astronomy.

We are developing an Yb-fiber laser-base optical frequency comb, XUV frequency comb, and high-power fiber chirped pulse amplifier system for these applications. The high-repetition-rate laser system will be applied for a calibration of a spectrograph in an observatory or an arbitrary waveform generation in an optical field, or a breath diagnosis.



オフセットフリー光周波数コム
Offset-free optical frequency comb.

研究テーマ Research Subjects

1. 超短パルスレーザーシステムの研究開発及びレーザーの超精密制御
Development and precise control of ultrashort pulse laser system
2. 高繰り返し—高強度物理
High-rep rate, high-field physics
3. 精密分光
Precision spectroscopy
4. 光周波数コム天文・医療・標準応用
Astronomical, medical, and metrological application of the optical frequency comb

極限コヒーレント光科学研究センター

Laser and Synchrotron Research Center

http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/itatani_group.html

板谷研究室

Itatani Group



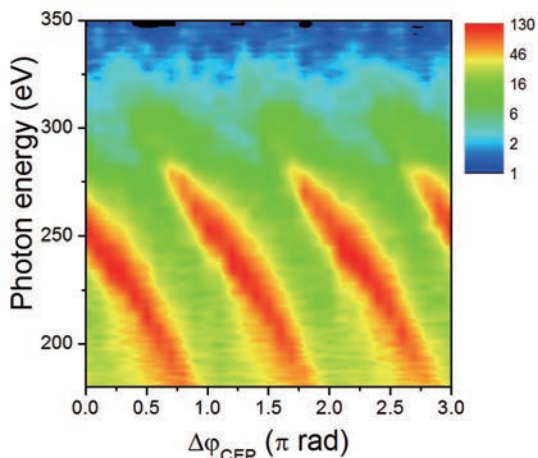
板谷 治郎
ITATANI, Jiro
准教授
Associate Professor



石井 順久
ISHII, Nobuhisa
助教
Research Associate

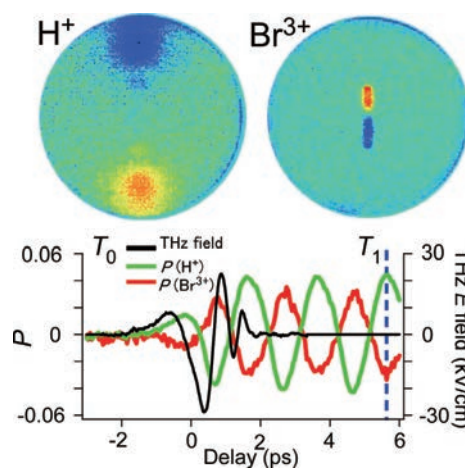
本研究室では、高強度極短パルスレーザーの開発と、それを用いたアト秒からフェムト秒領域の超高速分光に関する研究を行っている。光源開発に関しては、光電場の数周期程度の高強度極短パルス光の発生と電場波形の制御、中赤外からテラヘルツ領域での高強度光電場の発生に関する研究を行っている。また、高次高調波によるアト秒軟 X 線パルス発生に関する研究も進めている。分光応用に関しては、高強度光電場やアト秒軟 X 線パルスを用いた新規分光手法の開拓や、高強度光電場を用いた原子・分子における超高速現象の観測と量子制御、固体のフェムト秒軟 X 線分光に関する研究を行っている。位相制御された高強度超短パルスレーザーとその波長変換を基盤技術とすることによって軟 X 線からテラヘルツにわたる広い周波数領域においてタイミング同期した光パルスの発生が可能であるため、物質の励起状態における動的過程を様々な自由度を通して実時間観測し、さらには光で制御することを目指している。

We work on the development of intense ultrashort-pulse lasers and their applications to ultrafast spectroscopy on femto- to attosecond time scales. As for the light-source development, we work on the methodology to produce waveform-controlled intense optical pulses and to extend their spectral range towards mid-infrared and THz regions. For the spectroscopic applications, we work on novel methods using strong optical fields and attosecond soft-X-ray pulses aiming for dynamic molecular imaging with attosecond and Angstrom precisions, and also on femtosecond soft-X-ray spectroscopy of solids. By using phase-controlled intense ultrafast light sources and frequency conversion, we expect to produce optical pulses in extremely wide spectral ranges with precise synchronization. We aim to use such ultrabroadband coherent light for observing and controlling the dynamics of non-equilibrium states of matters through various freedoms.



高強度赤外レーザーで発生した高次高調波の「水の窓」領域の軟 X 線スペクトルの CEP 依存性

CEP dependences of soft-X-ray high harmonic spectra in the water window produced by an intense IR laser system.



高強度テラヘルツパルスによって誘起された HBr 分子内の回転波束と、観測された分子配向。

Time evolution of rotational wavepackets in HBr molecules (lower panel) and achieved molecular orientation (above panels).

研究テーマ Research Subjects

1. 高強度超短パルスレーザーの開発
Development of intense ultrashort-pulse lasers
2. アト秒物理学
Attosecond physics
3. 高強度光電場を用いた超高速現象の観測と量子制御
Observation and coherent control of ultrafast phenomena using strong optical fields
4. 固体の超高速軟 X 線分光
Soft-X-ray ultrafast spectroscopy of solids

極限コヒーレント光科学研究センター

Laser and Synchrotron Research Center

http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/harada_group.html

原田研究室

Harada Group



原田 慈久
HARADA, Yoshihisa
准教授
Associate Professor



宮脇 淳
MIYAWAKI, Jun
助教
Research Associate

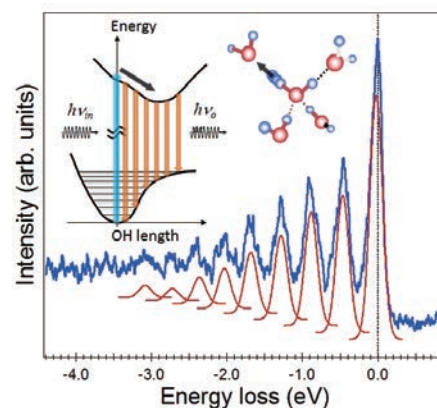
当研究室では、世界最高輝度のX線源である SPring-8 において‘軟X線’と呼ばれる光を用いて新しい分光法を開拓し、物質の電氣的、磁氣的性質、光学応答を司る電子状態をその成因に遡って調べる研究を行っている。特に光散乱の一種である軟X線発光分光の将来性に着目し、モット絶縁体、新規高温超電導体等の強相関物質における素励起（結晶場励起、スピン励起、マグノン励起、電荷密度波励起、軌道波励起など）の直接観測とその成因の研究、水溶性液体、固液界面の電子状態とマイクロ不均一性の観測、電池触媒の表面反応解析、光触媒反応解析のためのその場分析装置の開発、金属タンパク質の電子状態解析など、軟X線発光分光を適用しうる限りの極めて幅広い物質群を研究対象としている。また基礎光学研究として軟X線発光分光の超高エネルギー分解能化と時間分解分光に向けたR&Dを行っている。



当研究室が SPring-8 の東京大学放射光アウトステーションビームライン BL07LSU で独自に開発した 50 meV の世界最高エネルギー分解能を持つ軟X線発光分光装置。

Ultra-high energy resolution soft X-ray emission spectrometer constructed for University of Tokyo outstation beamline BL07LSU in SPring-8.

We explore the origin of the electronic structure of materials responsible for their electronic, magnetic and optical property using intense and energy tunable X-ray source: SPring-8, one of the most brilliant synchrotron facilities in the world. We have developed novel spectroscopies for material science in ‘soft’ X-ray region. We are leading the world’s soft X-ray emission spectroscopy, a kind of light scattering promising for electronic structure analyses of liquids and operando spectroscopy of a variety of catalysts. Our topics include study on elementary excitations (crystal field excitation, spinon, magnon, charge density wave, orbiton etc.) in strongly correlated materials like Mott insulators and novel high T_c superconductors, electronic structure analysis of aqueous solutions, interaction at solid-liquid interfaces, surface reaction of fuel cell catalysts, electronic structure analysis of reaction center in metalloproteins, electrochemical and photocatalytic reactions. We also explore basic study on ultrahigh energy resolution optics for soft X-ray emission and time-resolved spectroscopy.



高分解能軟X線発光分光で捉えた純水 (H₂O) の多重振動モード。水素結合によるポテンシャルの非調和性を反映した振動エネルギー分布がOHの乖離するところまで全て観測されている。この手法を用いて液体の水の中にマイクロ不均一性が存在することが裏付けられた。

Multiple vibrational excitation of H₂O observed by the ultrahigh energy resolution soft X-ray emission spectrometer. The energy separation reflects the profile of the Morse function modulated by hydrogen bonding. Using soft X-ray emission we confirmed the presence of a microheterogeneity in pure liquid water.

研究テーマ Research Subjects

1. モット絶縁体、新規高温超電導体等の強相関物質における素励起（結晶場励起、スピン励起、マグノン励起、電荷密度波励起、軌道波励起など）の直接観測とその成因の研究
Study on the origin and observation of elementary excitations (crystal field excitation, spinon, magnon, charge density wave, orbiton etc.) in strongly correlated materials like Mott insulators and novel high temperature superconductors
2. 水溶性液体の電子状態とマイクロ不均一性、固液界面の相互作用に関する研究
Electronic structure analysis of aqueous solutions to study microheterogeneity and interaction at solid-liquid interfaces
3. 燃料電池触媒の表面反応解析、電気化学反応、光触媒反応解析、金属タンパク質の機能解析のためのその場分析手法の開発
Development of in situ soft X-ray spectroscopy for surface reaction of fuel cell catalysts, electrochemical reaction, photocatalytic reaction and functionality of metalloproteins
4. 軟X線発光分光の超高エネルギー分解能化と時間分解分光のための基礎光学研究
Basic study on ultrahigh energy resolution optics for soft X-ray emission and time-resolved spectroscopy

和達研究室

Wadati Group



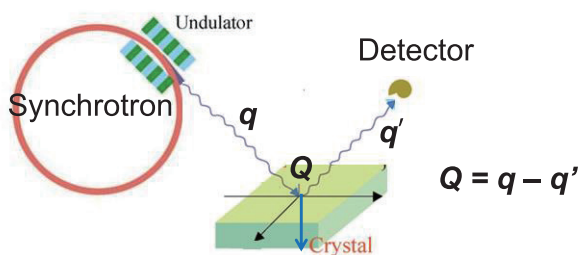
和達 大樹
WADATI, Hiroki
准教授
Associate Professor



平田 靖透
HIRATA, Yasuyuki
助教
Research Associate

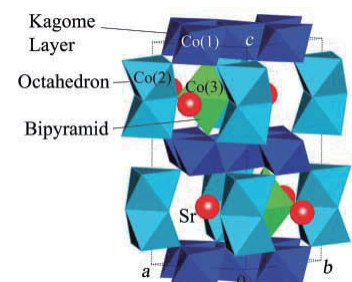
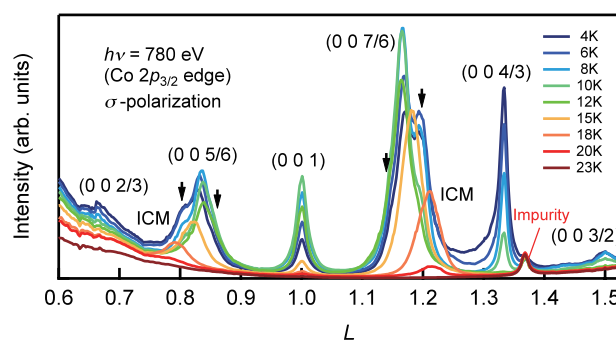
当研究室では SPring-8 などの放射光 X 線を用い、遷移金属酸化物などの電子相関の強い物質に対し、その電子状態、秩序状態、ダイナミクスなどを調べる研究を行っている。主に用いている実験手法は共鳴軟 X 線回折であり、これは物質の構成元素の吸収端のエネルギーを持つ X 線による X 線回折である。薄膜やナノ構造など微小試料でも磁気構造が決定できるなど、これまでの回折実験の常識を大きく打ち破ることができる。この手法により、強相関電子系で見られる高温超伝導や巨大磁気抵抗効果などを引き起こす物質内部の秩序状態の直接観測する。さらには、放射光 X 線や SACLA などの X 線自由電子レーザーの時間構造を用い、ピコ秒からフェムト秒領域での動的プロセスを実時間で観測する。以上によって物性発現のメカニズムを解明し、強相関電子系における新たな物性や現象を模索する。

We investigate the electronic structures, ordered states, and dynamics of strongly correlated materials, such as transition-metal oxides, by using x-rays from synchrotron radiation (e.g. SPring-8). Our main experimental technique is resonant soft x-ray diffraction, that is, x-ray diffraction performed by tuning the x-ray energy at the absorption edge of the constituent element. One can determine detailed magnetic structures of extremely small samples including thin films and nanostructures. By this technique we study ordered states in materials which show anomalous behaviors such as superconductivity and giant magnetoresistance. We will further extend this technique to time-resolved measurements by using time structures of synchrotron x-rays and x-ray free electron laser (e.g. SACLA), and directly measure the dynamical processes. These studies will reveal the mechanisms of anomalous behaviors and contribute to search for novel properties and phenomena in strongly correlated electron systems.



共鳴軟 X 線回折の概念図
Schematic diagram of resonant soft x-ray diffraction.

共鳴軟 X 線回折で決定した SrCo₆O₁₁ の磁気構造「悪魔の華」
Devil's flower-like magnetic structures in SrCo₆O₁₁ determined by resonant soft x-ray diffraction.



研究テーマ Research Subjects

- 共鳴軟 X 線回折による強相関電子系の秩序状態の研究
Resonant soft x-ray diffraction study of ordered states in strongly correlated electron systems
- 時間分解共鳴軟 X 線回折の開発
Development of time-resolved resonant soft x-ray diffraction systems
- 軟 X 線を用いた新しい分光手法の開発
Development of novel spectroscopic techniques by using soft x-rays

近藤研究室

Kondo Group



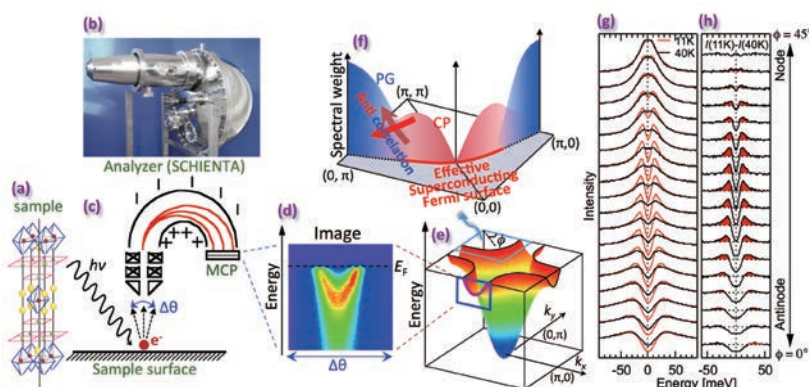
近藤 猛
KONDO, Takeshi
准教授
Associate Professor



黒田 健太
KURODA, Kenta
助教
Research Associate

固体中の電子状態を逆空間で描くバンド構造は、物質のあらゆる電子物性を理解する上での基礎を与える。角度分解光電子分光は、光を物質に照射して飛び出す光電子を角度及びエネルギーの関数としてイメージングすることでバンド構造を可視化する強力な実験手法である。この技術をベースとして、バンドが持つスピン構造をスピン分解によって選り分け、さらには、パルス光で瞬間的に非平衡状態へと乱された電子系が再び冷えて秩序化するダイナミクスをフェムト秒スケールで観測（時間分解）することで、多彩な電子物性がバンド構造を通して見えてくる。当研究室では、このような卓越した光電子分光技術を駆使して、非従来型の（高温）超伝導体、遍歴と局在の狭間で織りなされる重い電子系や電子相関物質、強いスピン軌道相互作用に起因して発現するトポロジカル量子相、及び固体表面や薄膜で制御する量子井戸構造などの電気磁気物性を、直接観察で得られるバンド構造を舞台に研究する。さらには、ヘリウム3クライオスタットや極限レーザー光源を用いて、最低到達温度及びエネルギー分解能で共に世界最高性能となる角度分解光電子分光装置を開発し、フェルミ準位極近傍で生じる微細な電子構造（エネルギーギャップや素励起カップリング構造）を解明する。

The momentum-resolved band structure provides fundamental information to understand the electronic properties of materials. The angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES) is a powerful technique to visualize the band structure by mapping the intensities of photoelectrons as a function of angle and energy. With the spin-resolved technique, we can also identify the spin-polarized character of the band. In addition, the time-resolved ARPES realized with a pump-probe technique can track the reordering process of electron system from its nonequilibrium state. In our laboratory, we utilize these various ARPES techniques and study the following phenomena: nonconventional superconductors, heavy fermions, strongly correlated systems, topological quantum phases, and quantum well states. Furthermore, we develop a new ARPES machine capable of achieving both the lowest measurement temperature and the highest energy resolution in the world by innovating a ^3He cryostat and a laser source. The state-of-art equipment will enable us to identify even a subtle electronic feature close to the Fermi level, such as an energy gap and a mode-coupled dispersion, which is typically tied to exotic behaviors of conduction electrons.



(a) 銅酸化物高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+d}$ の結晶構造。(b) 光電子アナライザー。(c) 角度分解光電子分光実験の模式図。(d) バンド分散のスナップショット。(e) バンド構造の全体図。(f) フェルミ面周りで描く超伝導と擬ギャップの競合関係。(g) 超伝導転移温度 (T_c) より高温 (黒線) と低温 (赤線) で測定したフェルミ面周りのスペクトル。(h) (g) で示すスペクトルの T_c 上下での差分。超伝導成分が赤で塗られており、(f) で模式的に示す赤の領域と対応する。

(a) Crystal structure of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+d}$ high- T_c superconductor. (b) ARPES analyzer. (c) Diagram of ARPES experiment. (d) Snapshot of dispersion image. (e) Whole band structure. (f) Competition between superconducting gap and pseudogap. (g) Spectra around Fermi surface below (red) and above (black) superconducting transition temperature ($T_c=35\text{K}$). (h) Difference between the curves in (g). Coherent spectral weight is painted with a red color, which is corresponding to the red region represented in (f).

研究テーマ Research Subjects

1. 極限レーザーを励起光源とする超高分解能角度分解光電子分光装置の開発
Development of a laser-excited ARPES system with ultra-high energy resolution
2. 角度分解・スピン分解・時間分解光電子分光で見る超伝導やトポロジカル量子相
Superconductivity and topological quantum phase investigated by angle-, spin-, and time-resolved photoemission spectroscopy
3. 放射光を利用した光電子分光で研究する強相関電子系物理
Strongly correlated physics studied by photoemission with synchrotron radiation

岡崎研究室

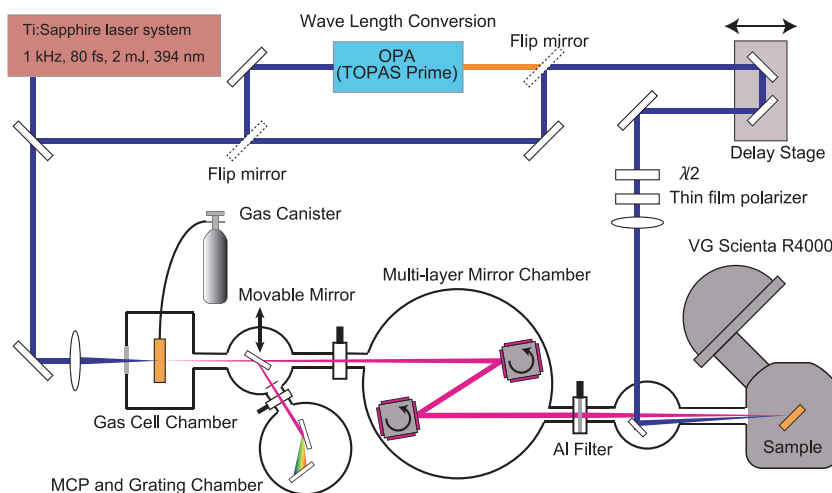
Okazaki Group



岡崎 浩三
OKAZAKI, Kozo
特任准教授
Project Associate Professor

角度分解光電子分光は物質中の電子の運動量とエネルギーの分散関係(バンド構造)を直接観測できる強力な実験手法であるが、フェムト秒レーザーをポンプ光、その高次高調波をプローブ光として用いることで、非平衡状態におけるバンド構造の超高速の過渡特性も観測できるようになる。本研究室では、レーザー開発の研究室と共同で超短パルス高次高調波レーザーを用いた時間分解光電子分光装置の開発・改良を進め、ポンプ・プローブ時間分解光電子分光によって、光励起状態からの電子の緩和過程の直接観測、光誘起相転移に伴う電子状態の変化の直接観測等を行い、励起状態からの電子の緩和機構の解明、光誘起相転移の機構解明等を目指している。また、エネルギー分解能 $70\mu\text{eV}$ 、最低測定温度 1K という世界最高性能を有するレーザー角度分解光電子分光装置を用いて、非従来型超伝導体の電子構造、超伝導ギャップ構造を直接観測することで非従来型超伝導の機構解明を目指している。

Angle-resolved photoemission spectroscopy is a very powerful experimental technique that can directly observe a dispersion relation between momentum and energy of the electrons in solid-state materials, whereas by utilizing a femto-second laser as pumping light and its high harmonic generation as probing light, we can observe ultrafast transient properties of the band structures in a non-equilibrium state. In our group, we are developing and improving a time-resolved photoemission apparatus that utilize high harmonic generations of an ultrashort-pulse laser in collaboration with a laser-developing group. We are aiming for understanding the mechanisms of electron relaxations from photo-excited states and mechanisms of photo-induced phase transitions by direct observations of transient electronic states with a pump-probe type time-resolved photoemission spectroscopy. Also, we are aiming for understanding the mechanisms of unconventional superconductivity by direct observations of the electronic structures and superconducting-gap structures of unconventional superconductors with a laser-based angle-resolved photoemission apparatus with a world-record performance that achieves a maximum energy resolution of $70\mu\text{eV}$ and lowest cooling temperature of 1 K.



高次高調波レーザーを用いた時間分解光電子分光装置の概略図

Schematic diagram of a time-resolved photoemission apparatus utilizing high harmonic generations of an ultrashort-pulse laser.

研究テーマ Research Subjects

1. 高次高調波レーザーを用いた時間分解光電子分光装置の開発
Development of a time-resolved photoemission apparatus utilizing high harmonic generation from an ultrashort-pulse laser
2. 光励起状態からの物質中の電子の緩和機構、光誘起相転移の機構解明
Mechanisms of electron relaxation from photo-excited states and photo-induced phase transitions
3. 極低温超高分解能レーザー角度分解光電子分光による非従来型超伝導体の機構解明
Mechanisms of unconventional superconductivities by ultralow temperature and ultrahigh resolution laser-based angle-resolved photoemission spectroscopy

極限コヒーレント光科学研究センター
Laser and Synchrotron Research Center

田中耕一郎研究室

K. Tanaka Group



田中 耕一郎
TANAKA, Koichiro
客員教授
Visiting Professor

高出力のテラヘルツ光の発生と検出、その物性研究への応用を精力的に進めている。高出力テラヘルツ光の発生方法は高出力のフェムト秒レーザー（パルスあたり1～4mJ）を用いる手法であり、LiNbO₃結晶を用いたチェレンコフ型の光整流過程またはレーザー誘起ガスプラズマを用いた四光波混合過程を利用している。現在の典型的な出力は、電場の大きさに換算して1MV/cmを超えるものであり、1KHzの繰り返しで1mW以上の平均出力が得られている。このテラヘルツ光源を用いて、固体、液体、生体物質を対象とした究極的なテラヘルツ非線形分光技術を探求している。すでに、半導体のバンド構造の動的変化や非摂動論的非線形光学応答などの新たな発見に成功した。また、この技術を用いて波長の100分の1の分解能を有する実時間動作顕微鏡の開発も進めている。

We are developing high-power THz wave generation techniques and their application to the solid state physics. Our method of high power THz wave generation is based on the Cherenkov-type rectification process in LiNbO₃ crystals, or the four-wave-mixing process in laser induced gas-plasma with amplified femtosecond lasers (4mJ/pulse). This has allowed us to generate an intense THz wave over 1 MV/cm in the electric field in the repetition rate of 1 KHz. Recently, our group has been exploring non-linear optical responses of semiconductors and biological materials and we have found various novel phenomena that have never before been observed. Simultaneously we are developing a near-field THz microscope working at video rate. These technologies will open the doors to new THz sensing and imaging applications in the near future.

極限コヒーレント光科学研究センター
Laser and Synchrotron Research Center

田中良和研究室

Y. Tanaka Group



田中 良和
TANAKA, Yoshikazu
客員教授
Visiting Professor

軟X線回折では、通常のX線回折では見ることができない軌道、スピン、電荷などの秩序を観察することができる。特に、マルチフェロイック物質や超伝導体などに代表される新機能性物質とよばれる物質群では、3d電子あるいは4f電子が物性を担っている。放射光をもちいた軟X線回折は、それら価電子状態を直接観察できることから、急速に発展してきた。

我々は、超伝導磁石、極低温冷凍機、極小集光技術を導入し、独自の軟X線回折装置を開発している。例えば、極低温冷凍機を用いて、通常のX線回折では見られないマルチフェロイックス CuFeO₂の3d軌道秩序を観測し、この物質の自発分極の原因を解明することに成功している。また、円偏光をもちいたスピン、軌道カイラリティの構造を観察することに成功している。現在、レーザービームを用いたポンプアンドプローブ時間分解X線回折の開発を行っている。この研究では、さまざまな相転移現象を時間変化として捉えることができ、非平衡秩序状態における電荷、スピン、軌道秩序の動的変化を観察できる。特に、光誘起相転移現象の研究は、X線回折のみならず、物質科学にとって重要なテーマのひとつである。我々も、精力的にこれに貢献したいと考えている。

Spin, orbital and charge orders, hardly observed by conventional X-ray diffraction, are observed by soft x-ray resonant diffraction. In new functional materials, like multiferroic, high-Tc materials, etc, of strongly correlated electronic systems, the 3d or 4f electrons play a crucial role for the novel properties. Soft x-ray diffraction provides one of the indispensable tools to observe the orders of valence electrons directly. It has developed in 21st century with the advent of the synchrotron sources.

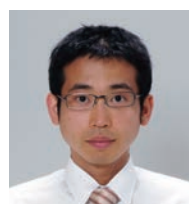
We have developed a quite unique soft x-ray diffraction system with superconducting magnets, low-temperature cryostat, and focusing mirrors. For example, we have succeeded to observe 3d orbital order in CuFeO₂, which shows the multiferroic property. In addition, we have succeeded to observe 2-dimensional images of spin and orbital chirality in several materials. In present, we are developing a time-resolved x-ray diffraction system using a laser system which has high intense and short pulses. It provides us to observe a variety of unstable ordered systems as a function of time. Especially, the study of phase transitions pumped by the high intense laser beam is one of the cutting-edge fields in the condensed matter physics. We will participate in this field intensively.

軌道放射物性研究施設 / 播磨分室 Synchrotron Radiation Laboratory / Harima Branch

<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/sor/index.html>

教授(施設長) 辛 埴	Professor (Director) : SHIN, Shik
教授 小森 文夫	Professor : KOMORI, Fumio
准教授 松田 巖	Associate Professor : MATSUDA, Iwao
准教授 原田 慈久	Associate Professor : HARADA, Yoshihisa
准教授 和達 大樹	Associate Professor : WADATI, Hiroki
助教 藤澤 正美	Research Associate : FUJISAWA, Masami
助教 山本 達	Research Associate : YAMAMOTO, Susumu
助教 矢治 光一郎	Research Associate : YAJI, Koichiro
助教 宮脇 淳	Research Associate : MIYAWAKI, Jun
助教 平田 靖透	Research Associate : HIRATA, Yasuyuki

技術専門員 福島 昭子	Technical Associate : FUKUSHIMA, Akiko
技術専門職員 澁谷 孝	Technical Associate : SHIBUYA, Takashi
技術専門職員 原沢 あゆみ	Technical Associate : HARASAWA, Ayumi
技術専門職員 工藤 博文	Technical Associate : KUDO, Hirofumi
特任研究員 丹羽 秀治	Project Researcher : NIWA, Hideharu
特任研究員 崔 芸涛	Project Researcher : CUI, Yitao
特任研究員 田久保 耕	Project Researcher : TAKUBO, Kou
特任研究員 冯 宝杰	Project Researcher : FENG, Baojie



矢治 助教



藤澤 助教

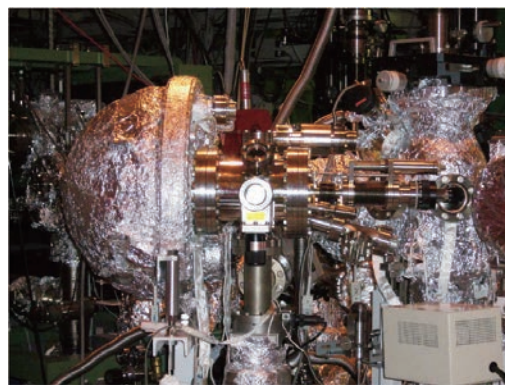
本施設は高輝度放射光を利用した先端的物性研究や新しい実験技術の開発・研究を共同で行っている。SPring-8 に設置された播磨分室では、同放射光施設に世界最高性能の軟X線アンジュレータビームライン（東京大学放射光アウトステーション物質科学ビームライン BL07LSU）を整備し、高輝度軟X線放射光を利用する最先端の物性科学研究を推進している。播磨分室スタッフは現在 BL07LSU において時間分解軟X線分光実験用ステーションと高分解能発光分光ステーションを立ち上げ、さらに先端軟 X 線分光技術の開発と新物質・新材料の電子状態研究を行っている。一方、KEK-PF に設置しているつくば分室では3本のビームライン（BL-18A, BL-19A, BL-19B）を維持・管理し全国の大学や研究機関の共同利用研究に供してきたが、2014年3月にて共同利用を停止し活動を終了した。長年に渡って培われた光物性測定技術は、今後柏の葉キャンパスにて物性研究所の真空紫外・軟 X 線レーザー光源を用いた実験系へと活かされる。

The synchrotron radiation laboratory is promoting advanced solid state spectroscopy using synchrotron radiation in soft X-ray and vacuum ultraviolet region. We operate a branch laboratory at SPring-8 to maintain the high-brilliance soft X-ray beamline BL07LSU of the University of Tokyo, where time-resolved soft X-ray spectroscopy and high-resolution soft X-ray emission spectroscopy are utilized to study electronic states and dynamics in new materials. The beamlines, BL-18A, BL-19A, and BL-19B, maintained by the Tsukuba branch at the Photon Factory (KEK-PF) were closed in March, 2014. The advanced experimental techniques, developed and accumulated at the branch, are utilized in experimental stations using vacuum ultraviolet and soft X-ray lasers at Kashiwa campus.



SPring-8 BL07LSU の 8 台の Figure-8 アンジュレーター。本挿入光源より連続偏角可変型不等刻線間隔平面回折格子分光器を経て、各実験ステーションに高輝度軟 X 線が供給される。

Figure-8 undulators installed in SPring-8, which provide high-brilliance synchrotron radiation into the beamline BL07LSU.



高効率スピン VLEED 検出器を付けた高分解能光電子分光分析器。KEK-PF BL-19A の高輝度放射光を利用して高分解能スピン分解光電子分光実験を行ってきた。

A spin-resolved photoemission spectrometer with VLEED spin detector, which enables us to measure spectra with very high energy and momentum resolutions.