

附属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センター（LASOR）では、極短パルス、超精密、大強度など、極限的なコヒーレント特性をもつレーザー光源開発と、シンクロトロン放射光による先端的ビームライン開発を推進し、光科学と物質科学を探究している。LASORは、レーザー科学と放射光科学の両方を包括する国内外でもユニークな組織であり、両者の融合領域を創出し、創造力と開発力の高い人材を育成している。極限的なコヒーレンスを活かした最先端光源を用い、テラヘルツから軟X線までの広エネルギー範囲で、超高時間分解分光、超精密分光、超高分解能光電子分光、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、オペランド分光を展開している。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、界面などの幅広い基礎物性研究とともに、レーザー加工など社会ニーズに関わる学理の探究や産官学協調領域の創出を狙う。柏IおよびIIキャンパスにレーザー関連、SPRING-8やナノテラスに軟X線分光関連の研究拠点を形成している。

The Laser and Synchrotron Research Centre (LASOR) is developing new lasers with extreme coherent performance in ultra-precise, high-intensity and/or ultra-short pulse lasers, and state-of-the-art soft X-ray beamlines of synchrotron radiation sources. One of the most important aims of LASOR is to integrate laser science and synchrotron radiation science, and develop creative and innovative young talents. Using new coherent light sources based on laser and synchrotron radiation technology over a wide spectral range from THz to X-ray, we further develop advanced spectroscopy, such as high-resolution, time-resolved, diffraction, scattering, imaging, and operando spectroscopy. On the basis of our advanced light sources and advanced spectroscopy, we study a wide range of materials sciences for semiconductors, strongly correlated materials, molecular materials, surfaces and interfaces, and biomaterials, as well as basic industrial sciences such as laser processing. Most of the research activities on the development of new high-power lasers and their application to materials science are carried out at Kashiwa I and II campuses. Experiments using synchrotron radiation are carried out at SPRING-8 and NanoTerasu.

センター長 秋山 英文

Leader AKIYAMA, Hidefumi

副センター長 松田 巖

Deputy Leader MATSUDA, Iwao

秋山研究室 Akiyama Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 利得スイッチ短パルス半導体レーザーと超高速非平衡非線形の光物性
Gain-switched short-pulse semiconductor lasers and ultrafast non-equilibrium non-linear optical physics
- 2 半導体レーザーデバイス・モジュール・システムの開発と応用
Development and applications of semiconductor-laser devices, modules, and systems
- 3 宇宙用の先端太陽電池の高効率エネルギー変換と詳細平衡限界物理
High-efficiency energy conversion and detailed-balance-limit physics in advanced space solar cells
- 4 発光計測標準、ホタル生物発光、ロドプシン・ラマン分光
Luminescence measurement standards, firefly bioluminescence, rhodopsin Raman spectroscopy



教授 秋山 英文
Professor AKIYAMA, Hidefumi

専攻 Course
理学系物理学
Phys., Sci.



助教 小林 真隆
Research Associate
KOBAYASHI, Masataka

半導体量子ナノ構造の光物性、半導体レーザーや太陽電池のデバイス物理、ホタル生物発光などを、レーザー分光・顕微分光・光学計測技術や半導体結晶成長・微細加工を用いて研究している。

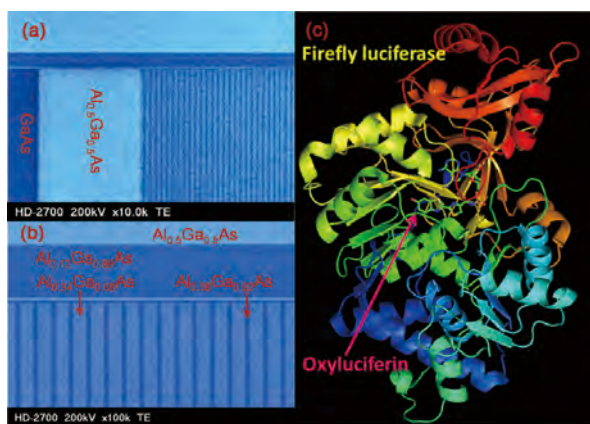
半導体レーザーに対して、極端に強い励起を短時間だけ加え、極端非平衡状態を生み出し、フェムト秒短パルス発生限界を迫る研究、宇宙用の先端太陽電池の損失機構を調べ変換効率限界を物理的に理解する研究、高品質な半導体量子構造の量子力学的な光学物性、低次元性、電子正孔系多体問題、半導体レーザー物理、結晶成長、物質科学の研究などを広い興味から行っている。

光学実験技術として、微弱発光を高感度検出する技術、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を開発している。それらの技術を応用し、ホタル生物発光や生物学課題を、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。

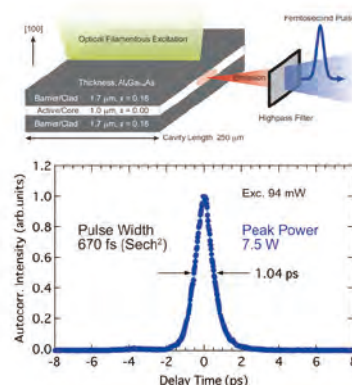
Advanced laser spectroscopy on the basis of lasers and microscopy is developed and applied to semiconductor quantum wires and other nano-structures, in order to understand and control their optical properties quantum mechanically.

Pico- and 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 space 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 型量子細線半導体レーザー (a,b) とホタルルシフェラーゼ (c) の構造
Nano-structures of 100 T-shaped quantum-wire semiconductor laser (a,b) and firefly luciferase protein (c).



利得スイッチ半導体レーザーからのフェムト秒パルス発生

Direct fs pulse generation from a gain-switched semiconductor laser.



板谷研究室 Itatani Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 位相制御された高強度極短パルスレーザーの開発
Development of phase-stable intense ultrashort-pulse lasers
- 2 軟X線アト秒パルス発生と原子・分子・固体のアト秒分光
Generation of soft-X-ray attosecond pulse, attosecond spectroscopy of atoms, molecules, and solids
- 3 強レーザー場中での超高速現象の観測と制御
Measurement and control of ultrafast phenomena in strong optical fields
- 4 超高速軟X線分光法の開発
Development of ultrafast soft X-ray spectroscopy



教授 板谷 治郎
Professor ITATANI, Jiro

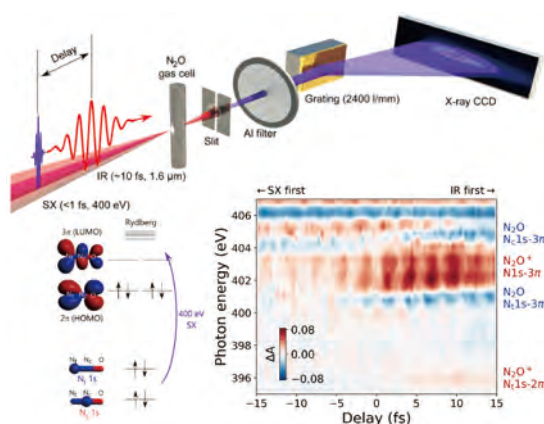
専攻 Course
理学系物理学
Phys., Sci.



助教 ピアテンコ エリザベタ
Project Research Associate
PYATENKO Elizaveta

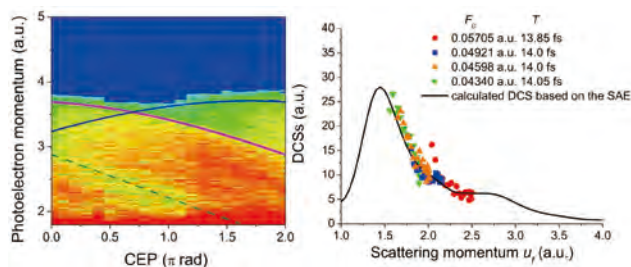
高強度極短パルスレーザーの開発と、フェムト秒からアト秒領域の超高速現象に関する研究を行っている。光源開発に関しては、可視から中赤外領域での位相制御された高強度極短パルス光源の開発と、気体・固体・液体媒質での高次高調波発生を利用した多様な短波長パルス光源に関する研究を行っている。また、チタンサファイアレーザーを超えた次世代極短パルスレーザー光源を目指した光源技術の開発も進めている。光源利用に関しては、アト秒軟X線パルスの超高速分光応用、原子・分子・固体中での高強度光電場で駆動された非線形光学現象に関する研究を主に行っている。位相制御された高強度極短パルス光源を基盤技術とした波長変換により、テラヘルツから軟X線までをカバーした超高速分光が実現可能であり、物質の非平衡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 are working on the development of intense ultrashort pulse light sources and their applications in ultrafast spectroscopy on the femtosecond to attosecond time scale. In light source R&D, we focus on the generation of waveform-controlled intense optical pulses from the visible to the mid-infrared spectral range and the generation of short-wavelength ultrashort pulses using the physics of high-order harmonic generation in gases, solids and liquids. In addition, we are developing the building blocks of next-generation light sources to overcome the limitations of current Ti:sapphire laser-based technologies. Based on these novel light sources and techniques, we are developing attosecond soft X-ray spectroscopy and other ultrafast methods to probe field-driven nonlinear processes in atoms, molecules, solids, and liquids. Our waveform-controlled intense light sources and related technologies will enable novel ultrafast spectroscopy covering an extremely broad spectral range from THz to soft x-rays. Our goal is to observe and control the ultrafast dynamics of non-equilibrium states of matter through multiple degrees of freedom.



アト秒軟X線パルスを用いたN₂O分子の過渡吸収分光と、内殻励起に関するエネルギー準位、観測されたサブサイクルの変調を受けた過渡吸収スペクトル。

Schematic of transient absorption spectroscopy of N₂O molecule using attosecond soft x-ray pulses, energy levels involved in inner-shell excitation, and the observed transient absorption spectra. The observed ultrafast modulation is due to the tunnel ionization of the molecule in a core-hole state.



(左) 強レーザー場中での光電子の再散乱によって得られるキャリア・エンベロープ位相依存性に依存した光電子スペクトル、(右) 観測された光電子スペクトルから再構成された微分散乱断面積と理論との比較。

(Left) Carrier-envelope phase dependence of the photoelectron spectra observed by rescattering of laser-accelerated photoelectrons. (Right) Comparison of the differential scattering cross section reconstructed from the observed phase-dependent photoelectron spectra. The good agreement indicates that quantitative information can be obtained from the high-energy rescattering phenomena.



遠藤研究室 Endo Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 GHz 帯高繰り返し・ハイパワー超短パルスレーザーの開発
Development of GHz-Repetition-Rate, High-Power Ultrashort-Pulse Lasers
- 2 非ガウス型量子状態を含む新奇量子状態の生成と量子情報処理への応用
Generation of Novel Quantum States Including Non-Gaussian States and Their Applications to Quantum Information Processing
- 3 光と物質の量子的相互作用に基づく量子光物性の探究
Exploration of Quantum Optical Materials Based on Light-Matter Interactions



准教授 遠藤 護
Associate Professor ENDO, Mamoru

専攻 Course

工学系物理学

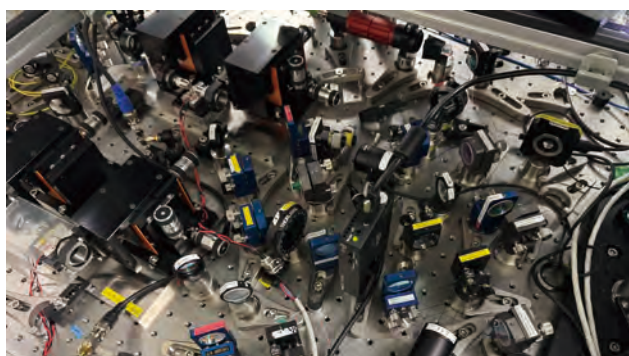
App. Phys., Eng.

近年の光科学および量子情報処理の飛躍的発展の根幹には、レーザー光源技術の進歩がある。本研究室では、レーザー光源を与えられた装置として扱うのではなく、光源そのものを戦略的に設計し、研究可能領域を拡張することを出発点とする。

高繰り返し・高出力・低雑音性を同時に実現する超短パルスレーザーを自ら設計・構築し、発振器、増幅、分散・位相制御、波長変換に至るまでを統合的に最適化することで、目的に最適化された光源の創出を行う。これにより、既存光源では到達困難であった強非線形領域や高効率な新奇量子状態生成を実現し、研究のフロンティアを拡張する。

さらに、これらの光源技術を基盤として、非線形光学および量子光学、量子情報処理、ならびに光と物質の量子的相互作用に基づく新しい物理の開拓へと研究を展開する。

本研究室は、光源開発にとどまらず、光源を基盤として物理の未踏領域を切り拓くことを目的とする。



ピコ秒パルスレーザーと非線形光学結晶、光子数識別器などを組み合わせた量子光源生成実験系の一部。

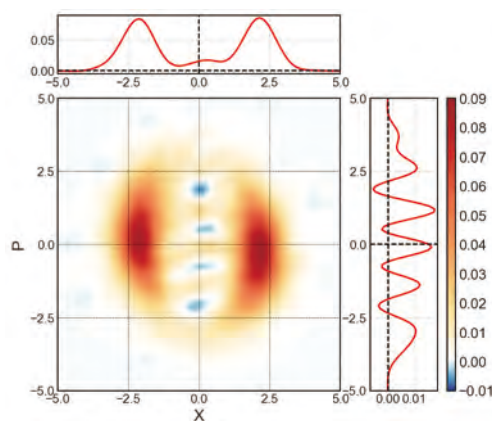
Part of an experimental setup for quantum light source generation, combining a picosecond pulsed laser, nonlinear optical crystals, and photon-number-resolving detectors.

Recent rapid advances in optical science and optical quantum information processing have been fundamentally supported by progress in laser source technologies. In this laboratory, laser sources are not treated as given instruments; instead, we take the strategic design of light sources themselves as the starting point for expanding accessible research regimes.

We develop ultrashort-pulse laser systems that simultaneously achieve high repetition rates, high average power, and low noise, through an integrated approach encompassing oscillator design, amplification, dispersion and phase control, and wavelength conversion. By constructing light sources optimized for specific experimental purposes, we enable access to strongly nonlinear regimes and high-efficiency generation of novel quantum states that are difficult to reach with conventional sources.

Based on these advanced light sources, we further extend our research to nonlinear and quantum optics, photonic quantum information processing, and the exploration of new physical phenomena arising from quantum interactions between light and matter.

Our laboratory aims not merely to develop laser sources, but to use them as a foundation for exploring previously inaccessible regimes of physics.



左図のセットアップにより生成された Schrödinger の猫状態のウィグナー関数表示。誤り訂正型量子計算や量子光物性への応用が期待される。

Wigner function of a Schrödinger cat state generated by the setup shown on the left. Such states are promising for applications in fault-tolerant optical quantum computing and quantum optical materials.



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/endo_group.html

岡崎研究室 Okazaki Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 極低温超高分解能レーザー ARPES による非従来型超伝導の機構解明
Mechanisms of unconventional superconductivities investigated by ultralow-temperature and ultrahigh-resolution laser ARPES
- 2 高次高調波レーザー時間分解 ARPES による光誘起相転移の機構解明
Mechanisms of photo-induced phase transitions investigated by HHG laser time-resolved ARPES
- 3 先端レーザーを用いた高分解能・時間分解 ARPES 装置の開発
Developments of high-resolution/time-resolved ARPES systems using advanced lasers



准教授 岡崎 浩三
Associate Professor OKAZAKI, Kozo

専攻 Course

新領域物質系

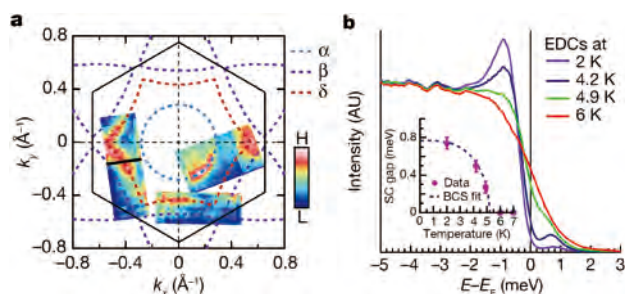
Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 池田 良平
Research Associate
IKEDA, Ryohei

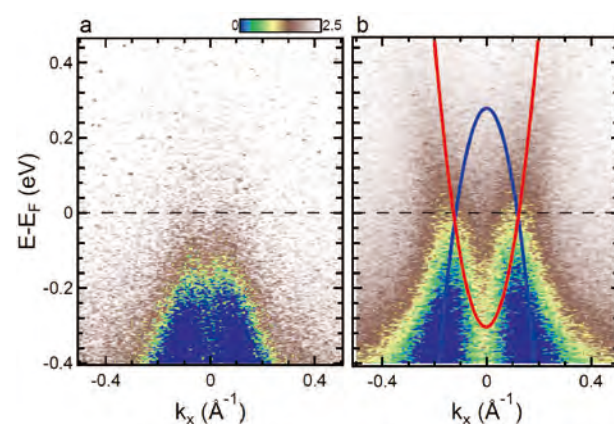
角度分解光電子分光は、固体中の電子の運動量とエネルギーの分散関係（バンド構造）を直接観測できる強力な実験手法である。本研究室では、エネルギー分解能 $70 \mu\text{eV}$ 、最低測定温度 1 K という世界最高性能を有するレーザー角度分解光電子分光装置を用い、非従来型超伝導体の電子構造および超伝導ギャップ構造を直接観測することで、その発現機構の解明を目指している。また、フェムト秒レーザーをポンプ光、その高次高調波をプローブ光とする時間分解光電子分光により、非平衡状態におけるバンド構造の超高速過渡応答を観測することができる。本研究室では、高次高調波をプローブ光とする時間分解光電子分光装置を用いて、光誘起相転移の機構解明および光による物性制御を目指している。さらに、レーザー開発研究室との連携により、先端レーザーを用いた光電子分光装置の開発・高度化にも取り組んでいる。

Angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES) is a powerful experimental technique that enables direct observation of the energy-momentum dispersion (band structure) of electrons in solids. In our group, we aim to elucidate the mechanisms of unconventional superconductivity by directly probing the electronic structures and superconducting gap structures using a laser-based ARPES system with world-leading performance, achieving an energy resolution of $70 \mu\text{eV}$ and a base temperature of 1 K . These capabilities allow us to resolve extremely fine electronic features and investigate low-energy phenomena with unprecedented precision. Furthermore, time-resolved photoemission spectroscopy (TARPES), which employs a femtosecond laser as the pump and its high harmonics as the probe, enables us to investigate ultrafast transient electronic structures in non-equilibrium states. Using a high-harmonic-based TARPES system, we study photo-induced phase transitions and explore optical control of material properties. In collaboration with laser development groups, we are also engaged in the development and advancement of next-generation photoemission systems based on cutting-edge laser technologies.



カゴメ超伝導体 $\text{Cs}(\text{Va,Ta})_3\text{Sb}_5$ ($T_c = 5.2 \text{ K}$) のフェルミ面と超伝導ギャップ

Fermi-surface map and superconducting gap of the Kagome superconductor $\text{Cs}(\text{Va,Ta})_3\text{Sb}_5$ ($T_c = 5.2 \text{ K}$)



励起子絶縁体 Ta_2NiSe_5 における光誘起絶縁体-金属転移

Photo-induced insulator-to-metal transition in the excitonic insulator Ta_2NiSe_5



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/okazaki_group.html

木村研究室 Kimura Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 超精密加工・計測法を活用した高精度 X 線光学素子の開発
Development of high-precision X-ray optical devices using ultra-precision fabrication and measurement techniques
- 2 先端光源を活用した新規 X 線顕微イメージング技術の開発
Development of new X-ray microscopy technology using advanced light sources
- 3 軟 X 線顕微鏡による顕微物性イメージング
Material property imaging with soft X-ray microscopy
- 4 X 線自由電子レーザーによる液中試料フェムト秒イメージング
Femtosecond imaging of samples in liquids using X-ray free-electron lasers



准教授 木村 隆志
Associate Professor KIMURA, Takashi

専攻 Course

工学系物理学

App. Phys., Eng.



助教 竹尾 陽子
Research Associate
TAKEO, Yoko

本研究室では、X 線自由電子レーザーや放射光、高次高調波といった先端 X 線光源と超精密 X 線光学素子を融合した、新たな顕微イメージング技術の開発に取り組んでいる。具体的には、大型放射光施設 SPring-8/SACLA での X 線顕微鏡構築のほか、原子レベルの加工精度を持つ先端半導体製造プロセスを活用した X 線光学素子の設計・作製、レンズレスイメージングのための計算アルゴリズムの開発を行っている。

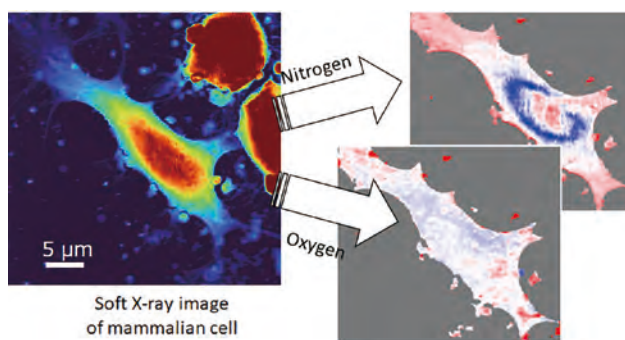
また共同研究者とともに開発した X 線顕微鏡の活用にも積極的に取り組んでおり、ナノ粒子や磁性ナノ構造などの無機試料だけでなく、哺乳類細胞や海洋性プランクトンなど幅広く計測を行っている。対象を問わず、メソスコピックな微細構造と物性の関係を高い空間的・時間的分解能で結びつけることで、新たなサイエンスを切り拓くことを目指している。

Our laboratory is engaged in the development of next-generation X-ray imaging technologies that combine state-of-the-art X-ray sources—such as X-ray free-electron lasers, synchrotron radiation, and high-order harmonics—with ultra-precise X-ray optical components. Our research includes the construction of advanced X-ray microscopes at large-scale synchrotron radiation facilities such as SPring-8 and SACLA, the design and fabrication of X-ray optics using cutting-edge semiconductor manufacturing techniques with atomic-level precision, and the development of sophisticated computational algorithms for lensless imaging. In close collaboration with domestic and international research partners, we actively apply these technologies to a wide range of samples, including inorganic materials such as nanoparticles and magnetic nanostructures, as well as biological specimens like mammalian cells and marine plankton. By uncovering the relationship between mesoscopic structures and their physical or chemical properties with high spatial and temporal resolution, we aim to open up new frontiers in a variety of scientific fields, including materials science, nanotechnology, and life science.



SPring-8 の BL07LSU に構築した軟 X 線タイコグラフィ装置 CARROT (Coherent Achromatic Rotational Reflective Optics for pTyChpgraphy)。全反射ウォルターミラーを利用した光学系を導入することにより、様々な波長の軟 X 線で試料を 50 nm 程度の分解能でイメージングすることが可能である。

Soft X-ray ptychography system CARROT (Coherent Achromatic Rotational Reflective Optics for pTyChpgraphy). We constructed this achromatic soft X-ray imaging system with 50 nm spatial resolution at BL07LSU of SPring-8.



軟 X 線タイコグラフィにより計測したげっ歯類神経芽細胞 (ND7/23)。元素毎の吸収端波長を走査し計測することで、細胞中の化学状態の差異を元素選択的にマッピングすることができる。

Soft X-ray ptychographic image of a hybrid cell line of neuroblastoma from mice and nerve cells from rats (ND7/23). By scanning across the absorption edge wavelengths of specific elements, this technique enables element-selective mapping of chemical state variations within the cell.



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kimura_group.html

久保田研究室 Kubota Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 X線自由電子レーザーを用いた物性計測技術の開発
Development of measurement techniques for condensed matter physics using X-ray free-electron lasers
- 2 光励起された格子・電子秩序の超高速ダイナミクス
Ultrafast lattice and electronic ordering dynamics induced by photoexcitation
- 3 超強磁場下の結晶構造・電子状態
Crystal structures and electronic states under ultrahigh magnetic fields
- 4 高輝度X線を用いた結晶構造解析
Crystal structure analysis using high-brightness X-rays



准教授 久保田 雄也
Associate Professor KUBOTA, Yuya

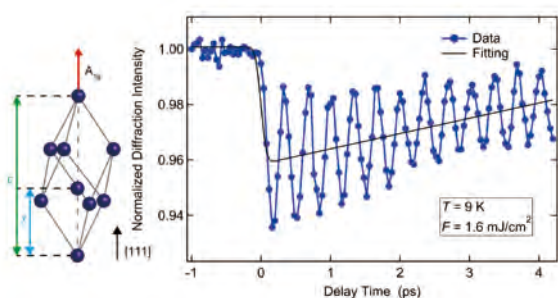
専攻 Course

理学系物理学

Phys., Sci.

大型放射光施設 SPring-8 および X線自由電子レーザー (XFEL) 施設 SACLA を中心に、高輝度硬 X線を用いた物性研究を推進している。最先端 X線光源の性能を最大限に活かした物性計測技術の開発に取り組み、とくに固体の非平衡状態に注目して、結晶構造および電子状態の解明を目指している。例えば、XFEL の短波長性と超短パルス性を活用し、光学レーザーと組み合わせた時間分解 X線回折法を用いた研究を行っている。光励起された強相関物質における結晶構造や電子秩序のダイナミクスを、フェムト秒の時間スケールで直接観測することが可能である。さらに、ポータブルな磁場発生装置 (PINK-02) を SACLA にて開発した。100 T の強磁場下で発現する物質の結晶構造および電子状態を、X線回折および X線分光で解明する研究を展開している。また、理化学研究所と連携し、SPring-8-II をはじめとする次世代先端光源の開発にも積極的に参画している。

We focus on condensed matter physics using high-brightness hard X-rays, mainly at the large synchrotron radiation facility SPring-8 and the X-ray free-electron laser (XFEL) facility SACLA. We work on developing advanced measurement techniques that take full advantage of state-of-the-art X-ray sources, with particular interest in nonequilibrium states in solids to elucidate their crystal structures and electronic states. For example, by utilizing the short wavelength and ultrashort pulse duration of XFELs, we perform time-resolved X-ray diffraction experiments in combination with optical lasers. This technique enables direct observation of the femtosecond-scale dynamics of crystal structures and electronic orders in photoexcited strongly correlated materials. In addition, we developed a portable magnetic field generation system (PINK-02) at SACLA. Using this system, we investigate the crystal structures and electronic states of materials that emerge under ultrahigh magnetic fields exceeding 100 T through X-ray diffraction and X-ray spectroscopy. We are also actively involved in the development of next-generation advanced light sources, including SPring-8-II, in collaboration with RIKEN.



時間分解 X線回折測定例。ビスマスの光励起 A_{1g} コヒーレントフォノンをフェムト秒かつナノメートルの時空間スケールで直接観測できる

Example of time-resolved X-ray diffraction experiments. The photoexcited A_{1g} coherent phonon in bismuth is directly observed with femtosecond temporal resolution and nanometer spatial resolution.



SACLA における 100 T 超強磁場発生装置 PINK-02 を用いた実験の様子。真ん中の箱型の装置が PINK-02。PINK-02 は松田康弘研 (ISSP) と池田研 (電通大) との共同開発

Experimental setup using the ultrahigh magnetic field generator PINK-02 (>100 T) at SACLA. The box-shaped device in the center is PINK-02, which was jointly developed with the Y. H. Matsuda group (ISSP) and the Ikeda group (UEC).



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/y_kubota_group.html

小林研究室 Kobayashi Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 高強度超短パルスレーザーシステムの研究開発
Development of high-power ultrashort pulse laser systems
- 2 レーザー加工の学理
Fundamental understanding on laser processing
- 3 医療応用中赤外分子分光
Precision spectroscopy of molecules for medical applications
- 4 サイバーフィジカルシステム
Cyber-Physical System



教授 小林 洋平
Professor KOBAYASHI, Yohei

専攻 Course

工学系物理工学

App. Phys., Eng.



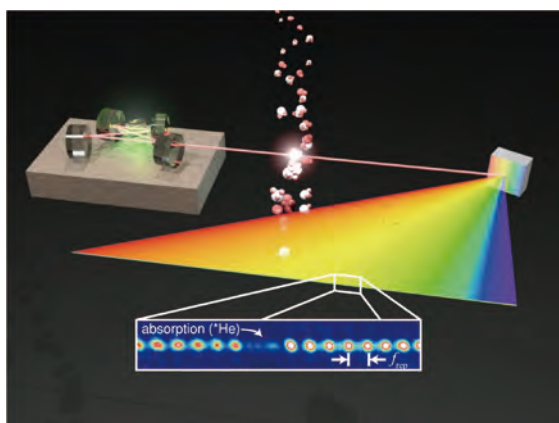
助教 中川 耕太郎
Research Associate
NAKAGAWA, Kotaro

最先端レーザーの研究開発とそれを用いた精密・高強度光科学の研究を行っている。特に光周波数コムおよびその応用手法の開発と、超短パルス・ハイパワーレーザーを用いたレーザー加工の学理の構築を中心課題としている。レーザー光源開発は希土類添加セラミックやファイバーの技術を基に、超高繰り返し、超高平均パワーのレーザーシステムを近赤外、中赤外、紫外、真空紫外の波長領域において展開する。超高繰り返しの方向では世界最小のカーレンズモード同期レーザーを保有する。フェムト秒レーザーをベースとした高輝度コヒーレント真空紫外光での光電子分光や呼吸診断を目指した医療応用の中赤外超精密分子分光を行っている。レーザー加工の素過程となる光と物質の相互作用において、レーザー加工の学理構築に取り組んでいる。なぜものは切れるのか？を知りたい。

We are developing 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.

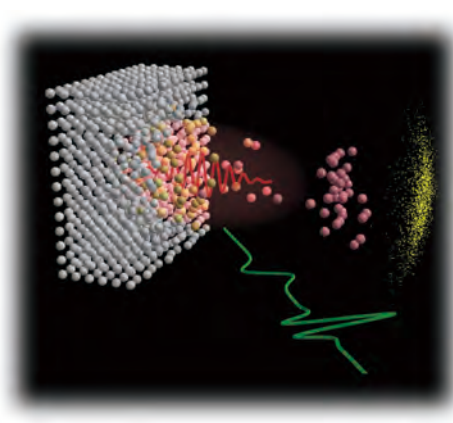
We are developing an Yb-fiber laser-base optical frequency comb, XUV frequency comb, and high-power fiber chirped pulse amplifier system for these applications. The high-repetition-rate laser system will be applied for a calibration of a spectrograph in an observatory or an arbitrary waveform generation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

In addition, we are studying the fundamental processes of laser processing and bridging the gap between them and industrial applications. We would like to know "How is a material cut?"



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 meta-stable He atom.



レーザー加工過程のサブピコ秒時間分解測定

Measurement of laser processing dynamics with sub-picosecond time resolution.



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

近藤研究室 Kondo Group

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



准教授 近藤 猛
Associate Professor KONDO, Takeshi

専攻 Course

理学系物理学

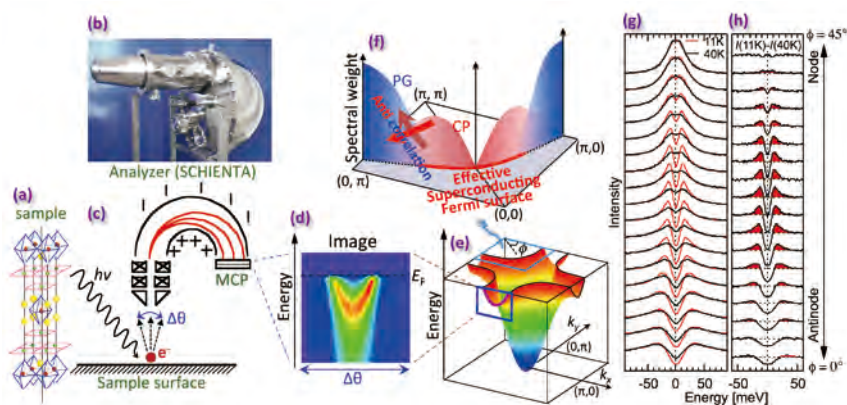
Phys., Sci.



助教 フ スン サン
Research Associate
HUH, Soonsang

固体中の電子が描くバンド構造は、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、光で励起する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同定したり、パルス光で制御する非平衡ダイナミクスをフェムト秒スケールで観測することで、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、(高温)超伝導体、重い電子系や電子相関系物質、トポロジカル量子相、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、極限レーザー光源及びそれを用いた高精度な光電子分光装置を開発し、フェルミ準位極近傍の微細な電子構造（エネルギーギャップや素励起との相互作用）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). (h) Coherent spectral weight is painted with a red color, which is corresponding to the red region represented in (f).



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kondo_group.html

原田研究室 Harada Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 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
- 2 電池触媒、電池電極の表面反応解析、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 battery catalysts and electrodes, electrochemical reaction, photocatalytic reaction and functionality of metalloproteins
- 3 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)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, orbital) in strongly correlated materials
- 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



教授 原田 慈久
Professor HARADA, Yoshihisa

専攻 Course

新領域物質系

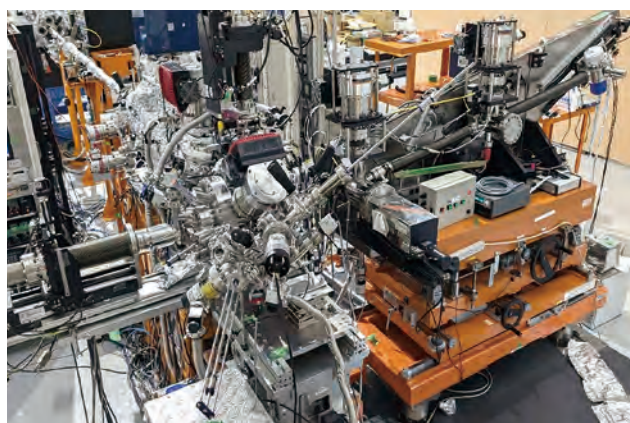
Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 張 文雄
Research Associate
ZHANG, Wenxiong

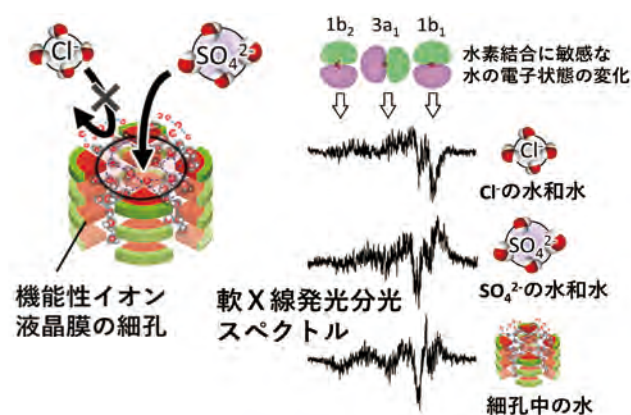
当研究室では、世界最高輝度の放射光X線源の一つであるSPring-8とNanoTerasuにおいて‘軟X線’と呼ばれる光を用いて新しい分光法を開拓し、物質の電気的、磁気的性質、光学応答を司る電子状態をその成因に遡って調べる研究を行っている。特に光散乱の一種である軟X線発光分光に着目し、強相関物質における素励起(結晶場励起、スピン励起、マグノン励起、電荷密度波励起、軌道波励起など)の直接観測とその成因の研究、水溶性液体、固液界面/気液界面の電子状態とマイクロ不均一性の観測、燃料電池触媒・二次電池電極の表面反応解析、光触媒反応解析のためのその場(オペランド)分析装置の開発、金属タンパク質の電子状態解析など、軟X線発光分光を適用するあらゆる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線吸収・発光分光の超高性能化のためのR&D、および木村隆志研究室と共同して軟X線顕微分光イメージングの応用研究を行っている。

We explore the origin of the electronic structure of materials responsible for their electronic, magnetic and optical property using intense and energy tunable synchrotron X-ray source: SPring-8 and NanoTerasu, 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 powerful for electronic structure analyses of liquids and operando spectroscopy of a variety of catalysts. Our topics include a study on elementary excitations (crystal field excitation, spinon, magnon, charge density wave, orbital etc.) in strongly correlated materials, electronic structure analysis of aqueous solutions, interaction at solid-liquid and gas-liquid interfaces, the surface reaction of fuel cell battery catalysts and rechargeable battery electrodes, electronic structure analysis of reaction center in metalloproteins, electrochemical and photocatalytic reactions. We also explore basic study on high performance soft X-ray absorption and emission spectroscopy as well as advanced application of soft X-ray spectroscopic imaging in collaboration with Prof. Takashi Kimura laboratory.



2024年4月より NanoTerasu BL07U で稼働中の 30meV の高エネルギー分解能を持つ角度分解軟X線発光分光装置 HORNET-II

30meV resolution angle-resolved soft X-ray emission spectrometer HORNET-II installed at NanoTerasu BL07U and under operation since April 2024.



極めて均一かつナノメートルサイズの穴を持つ機能性イオン液晶膜が、特定のイオンを選択的に透過するために「イオンを取り巻く水の水素結合構造を認識している」ことが軟X線発光分光で明らかとなった。

Soft X-ray emission spectroscopy has revealed that functional ionic liquid crystalline membranes with extremely uniform, nanometer-sized pores recognize the "hydrogen-bonded structure of water surrounding the ions" in order to selectively permeate specific ions.



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

松田巖研究室 I. Matsuda Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 オペランド X 線実験による表面上分子・キャリアダイナミクスの研究
Operando X-ray experiments to study molecule and carrier dynamics at surfaces
- 2 X 線自由電子レーザーを用いた非線形 X 線分光の研究
Study of non-linear X-ray spectroscopy by X-ray free electron laser
- 3 単原子層材料の設計と合成
Design and synthesis of novel functional materials of the monatomic layer
- 4 AI ロボットを用いた X 線分光実験技術の開発
Technical developments of X-ray spectroscopy experiments using AI robots



教授 松田 巖
Professor MATSUDA, Iwao

専攻 Course

理学系物理学 理学系化学
Phys., Sci. Chem., Sci.



助教 堀尾 真史
Research Associate
HORIO, Masafumi

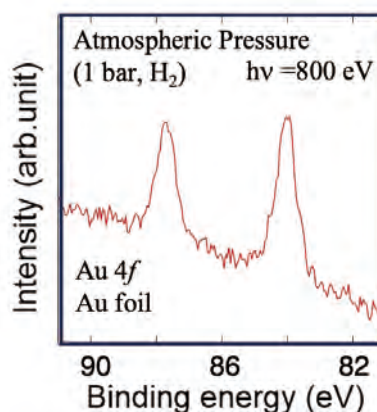
高輝度放射光や X 線レーザーから発生する真空紫外線～軟 X 線を用いた吸収分光・光電子分光・非線形分光の計測技術を開発し、自作装置（左図）を使って材料の動作下における状態変化を「その場」観測するオペランド実験を実施している。放射光施設では固気界面の化学状態を直接調べることができる光電子分光測定を超高真空から大気圧条件下まで実現し、モデル物質から実在材料の物性と機能性を明らかにしている。さらに研究室では新たな測定原理の開拓に加えて、AI ロボット技術の導入も推進している。対象としている物質群は主にディラック電子系を有した単原子層や強相関物質の表面／界面系であり、それぞれの電子物性および機能性の研究を行っている。学理とインフォマティクスを元に、我々の精密な計測データで情報をフィードバックさせながら新規材料の設計と合成を行い、その社会実装を目指している。

We have developed measurement techniques for absorption spectroscopy, photoelectron spectroscopy, and nonlinear spectroscopy using vacuum ultraviolet rays to soft X-rays, generated from high-brilliant synchrotron radiation (SR) and X-ray lasers. We have focused on *operando* experiments to make in situ observations of a material during its operation. At the SR facility, we have realized photoelectron spectroscopy measurements under conditions from ultrahigh vacuum to ambient pressure, unveiling properties and functionalities of the model and actual systems (See the Figures). Our instrumental developments are based on pioneering new measurement principles and, recently, they are combined with the AI robot technology. Our material targets are mainly monatomic layers with the exotic Dirac electrons and surface/interface systems of strongly correlated materials. Based on the fundamental theories and informatics, we design and synthesize novel materials while feeding back information using our precise measurement data. We aim to implement our functional materials in society.



オペランド実験ステーション：雰囲気光電子分光装置。放射光施設に設置されており、触媒や電池など様々な化学反応の解明に使用される。表面化学反応の中間体をリアルタイムで捉えることができる。

An *operando* experiment station of ambient-pressure X-ray photoelectron spectroscopy, developed at the synchrotron radiation facility. The instrument probes intermediates during chemical reaction at the surface in real time.



本研究室で達成した完全大気圧下での軟 X 線光電子分光測定（金箔の Au 4f 内殻準位）。

The real ambient pressure soft X-ray photoelectron spectrum, measured and achieved at the laboratory (Au 4f core-levels of a Au foil).



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/i_matsuda_group.html

松永研究室 Matsunaga Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 テラヘルツ - 中赤外超短光パルス技術開発
Development of ultrafast pulsed laser technique in terahertz-mid infrared range
- 2 光電場で駆動された多体系の超高速ダイナミクス
Ultrafast dynamics of many-body systems driven by light field
- 3 トポロジカル半金属における非線形応答と非平衡現象
Nonlinear responses and nonequilibrium phenomena in topological semimetals
- 4 テラヘルツ高速スピントロニクス
High-speed terahertz spintronics



准教授 松永 隆佑
Associate Professor MATSUNAGA, Ryusuke

専攻 Course
理学系物理学
Phys., Sci.



助教 室谷 悠太
Research Associate
MUROTANI, Yuta



特任助教 湯本 郷
Project Research Associate
YUMOTO, Go

テラヘルツから中赤外・近赤外・可視域にわたるコヒーレント光源を用いて、物質の光応答と光電場によって誘起される非平衡状態の性質を調べている。特にテラヘルツ周波数帯のフォトンエネルギーは数 meV 程度であり、物性物理において重要なフェルミ面近傍の電磁応答を調べることができる重要な実験手法となっている。さらに近年開発された極めて高い電場尖頭値を持つ高強度テラヘルツ波を駆使することで、低エネルギーの素励起を共鳴的に強く励起する、あるいは物質中の素励起よりもさらにエネルギーの低い光電場による非共鳴的励起によってコヒーレントな相互作用を調べることが可能である。テラヘルツ発生及び検出技術と非線形分光測定手法を開発するとともに、超伝導や反強磁性のような多体系の秩序に現れる集団励起や、トポロジカル半金属において巨に現れる非線形応答、高速スピン輸送現象など、非平衡状態で現れる物質の新たな状態を調べ、その機能性を明らかにする。

We use coherent light sources based on ultrafast pulsed laser technology to generate terahertz wave, mid- and near-infrared, and visible light to study the dynamics of light-induced nonequilibrium processes in a variety of materials. Particularly terahertz spectroscopy can reveal low-energy electromagnetic responses of materials on the range of millielectronvolts, which include crucial details for the dynamical motions of electron, phonon, or spin degrees of freedom in condensed matter physics. A novel route for optical control of materials by strong resonant or off-resonant excitation by light field has also been made possible by recently discovered powerful terahertz pulse production technology. We explore superconductivity or antiferromagnetism, gigantic nonlinearity of topological semimetals, and high-speed spin transport phenomena, in addition to the development of phase-stable terahertz generating and detection techniques and novel nonlinear spectroscopy schemes.



高強度テラヘルツパルス発生および位相安定中赤外パルス発生に用いるフェムト秒再生増幅パルスレーザーシステム

Regenerative-amplified femtosecond pulse laser system for intense terahertz wave generation and phase-locked mid-infrared light generation



テラヘルツ電磁応答および Hall 伝導測定に用いる透過・反射・偏光回転精密計測システム

Transmission, reflection, and polarization rotation spectroscopy system for terahertz electromagnetic response and Hall conductivity measurements



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/matsunaga_group.html

チン研究室 CHEN Team



客員教授 チン ショウキョウ
Visiting Professor CHEN, Shaoqiang

短パルスレーザーを用いた多光子顕微鏡は、強力な生物医学ツールとして注目を集めている。波長可変性、コスト効率、小型化の進歩に伴い、半導体レーザーはこれらの用途の波長制御パルス光源として有望である。利得スイッチは半導体レーザーにおけるパルス生成の重要な手法であり、フェムト秒の高速性が実証されている。波長の精密かつ高速な可変性または制御は、近年、科学、技術、そして実用面で大きな関心を集めており、DFB 構造や Si 集積光学二重微小リング共振器を用いた外部共振器型レーザー構造によって実現されている。それぞれの手法には長所と短所があり、用途のニーズに基づいて、その利点を最大限に活かす適切な手法を選択する必要がある。

本研究室では、LASOR の秋山研究室と共同で、上記レーザーパルス制御技術の物理的メカニズムと制限要因を研究し、その基本的限界を探り、将来の応用の技術的基礎の創出を目指す。

Multiphoton microscopy with a short pulse laser has emerged as a powerful biomedical tool for cancer and Alzheimer's disease research and diagnosis. With advances in tunability, cost-efficiency, and compactness, semiconductor laser diodes have shown promising potential as wavelength-controlled pulsed light sources for these applications. Gain switching is a key method for short-pulse generation in semiconductor lasers, and femtosecond gain-switched pulses have already been demonstrated.

Precise and fast tunability or control in wavelength is attracting recent scientific, technological, and practical interests, and is achieved by distributed-feedback structures or by external-cavity-laser structures using silicon-photonics double-micro-ring-resonators. Each approach has its pros and cons, and appropriate methods must be selected to develop their most advantages based on application needs.

In this proposed research, with the collaboration with Akiyama lab in LASOR, we aim to study the physical mechanisms and limiting factors of several laser-pulse-control techniques, explore their fundamental limitations, and provide technical references for future applications.