

# 量子ナノ物性研究センター

Nanoscale Quantum Science Center

量子ナノ物性研究センターは、物性研究所が培ってきた新物質・新奇物性研究と、極限環境や大型施設を用いた先端計測研究を、微細加工およびナノ計測技術によって結び付けることを目的として設立された研究拠点である。本センターでは、様々な量子物質をナノスケールで加工・制御する技術を基盤として、新物質の機能探索を進めるとともに、電荷やスピンなど量子の振る舞いを解明する基礎研究に取り組んでいる。さらに、これらの成果を量子技術やスピントロニクスなどの次世代エレクトロニクスへと展開する研究を推進している。また、所内外の研究者にセンターが保守・管理する微細加工装置の利用機会を提供し、東京大学柏キャンパスにおける微細加工インフラ拠点としての役割を担っている。

The Nanoscale Quantum Science Center (Q-NanoLab) was established to integrate two core strengths of The Institute for Solid State Physics: the exploration of novel materials and emergent quantum phenomena, and advanced measurements conducted under extreme conditions using large-scale facilities. By leveraging state-of-the-art nanofabrication and nanoscale characterization techniques, the Center provides a comprehensive platform that connects material synthesis, device fabrication, and advanced measurements.

Based on technologies for fabricating and controlling a wide variety of quantum materials at the nanoscale, Q-NanoLab promotes both the exploration of novel material functionalities and fundamental studies aimed at elucidating the behavior of quantum degrees of freedom, such as charge and spin. Through these efforts, the Center advances research that links fundamental condensed matter physics to future electronic functionalities, including quantum technologies and spintronics.

In addition to its research activities, Q-NanoLab provides access to nanofabrication facilities that are maintained and operated by the Center for both internal and external researchers. In this role, the Center serves as a key nanofabrication infrastructure hub at the University of Tokyo's Kashiwa Campus, supporting a broad range of collaborative research activities.

---

センター長 橋坂 昌幸  
Leader HASHISAKA, Masayuki

---

## 井手上研究室 Ideue Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 2次元原子層物質の対称性制御を基軸とした新奇物性探索  
Exploration of novel physical properties based on symmetry control of two-dimensional materials
- 2 原子層物質における量子状態測定  
Measurement of quantum states in atomic layer materials
- 3 整流現象：非相伝導現象、超伝導ダイオード効果、バルク光起電力効果  
Rectification effect: Nonreciprocal transport, superconducting diode effect and bulk photovoltaic effect
- 4 原子層物質の相制御：磁性や超伝導、トポロジカル状態の制御等  
Phase control of atomic layer materials: Control of magnetism, superconductivity, topological states, etc



准教授 井手上 敏也  
Associate Professor IDEUE, Toshiya

専攻 Course

工学系物理工学

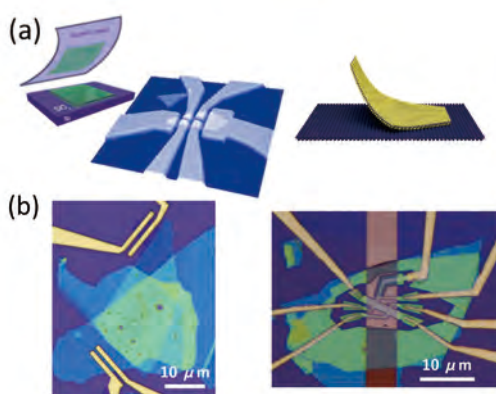
App. Phys., Eng.



助教 田中 未羽子  
Research Associate  
TANAKA, Miuko

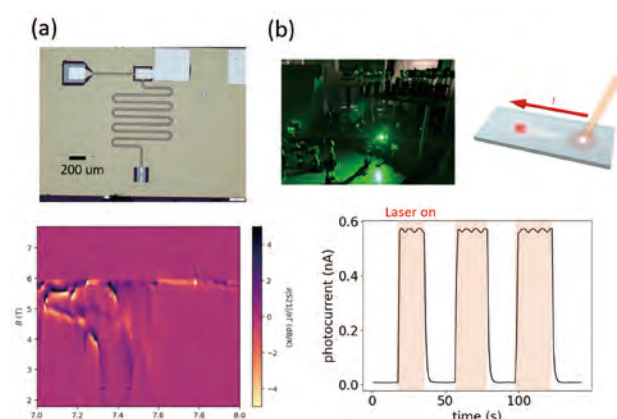
原子層数層からなる2次元物質は物質科学の新しい舞台として近年大きな注目を集めている。これらは3次元結晶にはないユニークな物性を示すことに加え、デバイス化や電場・磁場・圧力などの外場印加、電気化学的手法、曲率構造やヘテロ界面/捻り積層界面の作製等によって物質の構造や電子状態、対称性を自在に制御可能であり、それを反映した特徴的機能性を創出することができる。本研究室では、そのような2次元原子層物質特有の電気伝導特性や超伝導物性、光学特性の発見と理解によって、物質科学のフロンティアを開拓することを目指している。電荷やスピン、励起子といった様々な量子自由度の整流効果や量子相制御、高周波を用いた量子測定に取り組んでいる。

Atomically thin two-dimensional materials have recently attracted significant attention as a new materials platform. In addition to the unique physical properties, which are absent in bulk three-dimensional materials, we can freely control the structures, electronic states and symmetries of two-dimensional materials and realize the emergent functionalities by device fabrication, application of the external pressure or electric/magnetic field, electro-chemical gating method, and making van der Waals hetero/twisted interfaces or curved nanostructures. We are exploring novel transport phenomena, superconducting properties, and optical properties in these two-dimensional materials and pioneering the frontier of material science. We are aiming at controlling the various quantum degrees of freedom or elementary excitations in two-dimensional materials (charge, spin, lattice, exciton, superconducting vortex etc.), realizing exotic quantum functionalities such as quantum rectification effect (nonreciprocal transport, superconducting diode effect, and bulk photovoltaic effect) and quantum phase control (electric-field-induced superconductivity, topological phase transition, magnetic order control), and also developing new quantum measurement techniques using microwave.



2次元原子層物質の制御とデバイス作製。(a) 劈開法による薄膜化と転写法による積層構造の作製。(b) 面直接合デバイスと電界効果デバイスの顕微鏡写真。

Controllability of two-dimensional materials and device fabrications. (a) Thin film device and van der Waals interface made by exfoliation, transfer and stacking techniques. (b) Pictures of vertical junction device and field-effect device.



(a) マイクロ波共振器と原子層物質の結合デバイスと共鳴モード (b) 顕微光学応答測定系と原子層ナノ物質における光電流。

(a) Microwave resonator coupled with two-dimensional material and observed resonance mode. (b) Optical measurement system and photocurrent response in two-dimensional materials.



[https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/ideue\\_group.html](https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/ideue_group.html)

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 半導体モアレ超格子中の電子の精密電気制御による物性探索  
Exploration of physical properties via precise electrical control of electrons in semiconductor moiré superlattices
- 2 励起子をプローブとした電子物性の探索手法の開拓  
Development of methods for exploring electronic properties using excitons as a probe
- 3 2次元物質による量子デバイス  
Quantum devices based on two-dimensional materials



准教授 島崎 佑也  
Associate Professor SHIMAZAKI, Yuya

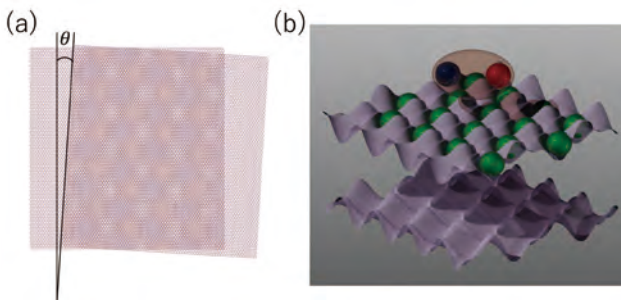
専攻 Course  
工学系物理工学  
App. Phys., Eng.

半導体中に電子を規則的に配列した人工量子系において物性を再現するということは、メソスコピック物理の長年の夢であった。近年このような系が2次元物質の結晶格子のモアレ干渉を利用したナノスケール周期の超格子において実際に実現されており、強相関電子状態、超伝導、磁性、トポロジカル物性など多数の量子物性の出現が確認されている。このような新しい人工量子系の振る舞いを微視的に理解し、制御するための学理を構築することで、ナノスケールの階層におけるメタ物質科学の展開が期待できる。

当研究室では半導体2次元物質を中心として、そのモアレ超格子の電子物性をマクロな量子物性とミクロな量子デバイス物理の両方の観点から研究を行う。特に半導体モアレ超格子の精密電気制御と光励起によるプローブ・制御を通じてその量子物性・量子デバイス物理を明らかにする。励起子をプローブとした電子物性の新しい探索手法についても開拓を行う。

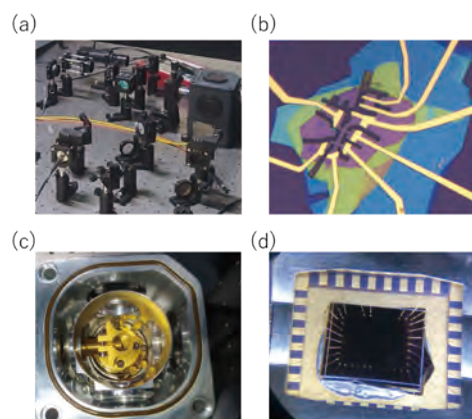
Realizing artificial quantum systems with regularly arranged electrons in semiconductors to simulate physical properties has long been a dream in mesoscopic physics. Recently, such systems have been realized using nanoscale-period moiré superlattices formed by interference patterns in two-dimensional materials. These systems exhibit a wide range of quantum phenomena, including strongly correlated electron states, superconductivity, magnetism, and topological properties. Understanding and controlling the behavior of these novel quantum systems at a microscopic level can lead to the development of metamaterial science at the nanoscale.

Our laboratory focuses on the study of moiré superlattices in semiconductor two-dimensional materials, investigating their electronic properties from both macroscopic quantum phenomena and microscopic quantum device physics. In particular, we aim to reveal quantum properties and device physics through precise electrical control and optical excitation. Additionally, we are developing new methods to explore electronic properties using excitons as probes.



(a) 2次元物質によるモアレ超格子 (b) 半導体モアレ超格子中の強相関電子状態の励起子によるプローブ

(a) Moiré superlattice formed by two-dimensional materials (b) Strongly correlated electron states in a semiconductor moiré superlattice probed by excitons



(a) 光学実験系 (b) 2次元物質デバイス (c) 光学クライオスタット (d) チップキャリア上のデバイス写真

(a) Optical experimental setup (b) Two-dimensional material device (c) Optical cryostat (d) Device image on chip carrier



## 橋坂研究室

Hashisaka Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 分数量子ホール準粒子のエニオン統計  
Fractional quantum Hall quasiparticles and their statistics
- 2 トポロジカルエッジ状態のダイナミクス  
Dynamics of topological edge states
- 3 メゾスコピック系の量子輸送  
Quantum transport in mesoscopic systems
- 4 微細加工による量子物質の機能開発  
Development of Quantum Material Functionalities through Nanofabrication



准教授 橋坂 昌幸  
Associate Professor HASHISAKA, Masayuki

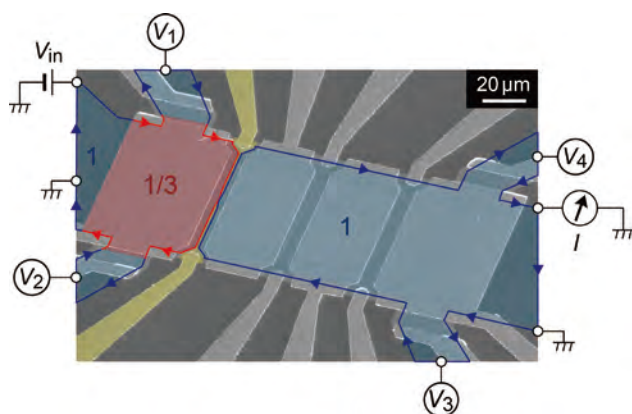
専攻 Course

理学系物理学

Phys., Sci.

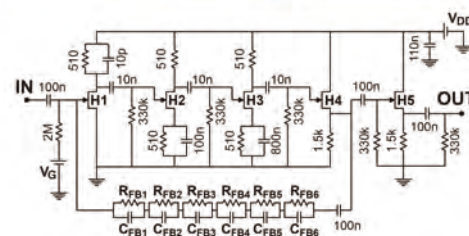
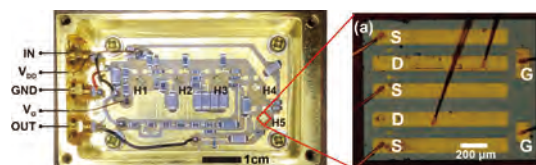
電子の量子的性質と電子間相互作用を起源として、著しく非自明な物性が発現することがある。超伝導、分数量子ホール効果、近藤効果などがその代表例である。これら「量子多体系」の特異性は、その素励起の性質としてひととき鮮やかに観測される場合がある。例えば分数量子ホール系における素励起（準粒子）は、素粒子であるはずの電子1個の電荷（素電荷）よりも小さな分数電荷を持つことが確かめられている。またこの準粒子は、ボーズ統計・フェルミ統計と異なる量子統計（エニオン統計）を持つことが知られており、トポロジカル量子計算への応用が期待されている。本研究室では、量子多体系の素励起を観測・制御することにより、電子や光子などの自然な粒子では実現できない、新奇な量子技術の確立を目指して研究を行っている。

The interplay of quantum nature and the electron correlation causes exotic phenomena in condensed matter, such as superconductivity, the fractional quantum Hall effect, and the Kondo effect. Our research aims to investigate these quantum many-body phenomena in mesoscopic systems using nanofabrication and our original measurement techniques. The quantum many-body systems sometimes show their peculiarity as the beautiful characteristics of the elementary excitations. The paradigmatic is the quasiparticles in the fractional quantum Hall states. The quasiparticles have fractional charges smaller than the elementary charge. More interestingly, they have anyonic statistics, the quantum statistics that differ from the Bose and Fermi statistics. The quasiparticles with highly nontrivial non-abelian statistics may open a route for synthesizing the fault-tolerant topological quantum computer, thus attracting growing attention in condensed matter physics and quantum computational science. Our goal is to establish such novel quantum technologies originating from the intriguing nature of quasiparticles in quantum many-body systems.



分数・整数量子ホール接合デバイス。占有率1/3領域（準粒子、電荷  $e/3$ ）と、占有率1領域（電子、電荷  $e$ ）の電荷キャリアのミスマッチにより、超電導接合に類似したアンドレーエフ型反射が生じる。

False-color electron micrograph of the fractional-integer quantum Hall junction device. Mismatch between the charge carriers causes Andreev-like reflection at the junction.



自作 FET を用いて作製した低温電流増幅器

Homemade-HEMT-based cryogenic transimpedance amplifier



[https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/hashisaka\\_group.html](https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/hashisaka_group.html)



## 三輪研究室

Miwa Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 キラル分子スピントロニクス  
Chiral molecular spintronics
- 2 量子物質スピントロニクス  
Quantum material spintronics
- 3 レーザーやマイクロ波分光を用いたオービトロニクス  
Orbitronics using pulse laser and microwave spectroscopy



准教授 三輪 真嗣  
Associate Professor MIWA, Shinji

専攻 Course

新領域物質系

Adv. Mat., Frontier Sci.



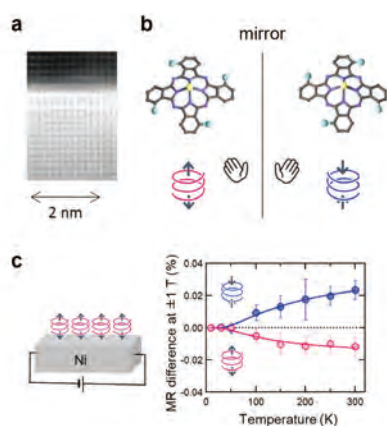
助教 青木 基  
Research Associate  
AOKI, Motomi

特徴的なナノ構造を用いた物性実験研究を行っている。具体的には、半導体工学で発展した超高真空薄膜成長技術を駆使し、異種材料界面を持つ多層膜デバイスを用いて研究を行う。ナノの世界において「スピン」の性質が顕著に現れることに着目し、新物質・材料デバイスが示す新たな物性（物の性質）を見つけて機能化し、物理を把握して室温で大きな効果を示すデバイス物性の創成を目指している。

最近では物質のキラリティを利用した研究に注力している。キラリティは物理学だけでなく、化学、生物学、天文学でも共通して扱われる珍しい性質であり、特に有機分子のキラリティを用いたスピントロニクスデバイスの研究を進めている。また、量子物質であるトポロジカル反強磁性体のデバイス物性、フェムト秒パルスレーザーやマイクロ波分光を用いたオービトロニクスの研究も行っている。

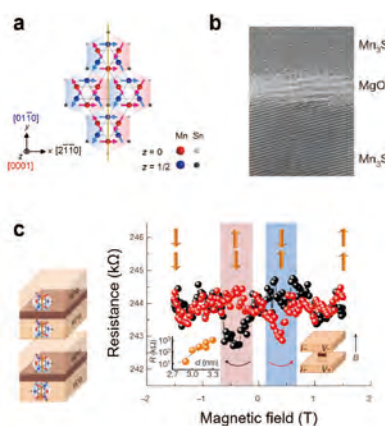
We are conducting experimental research on the physical properties of unique nanostructures. Specifically, we utilize ultrahigh vacuum thin film growth technology, a development from semiconductor engineering, to study multilayer devices composed of interfaces between different materials. Our focus is on the properties of “spin”, which become pronounced at the nanoscale. Our goal is to uncover new physical properties exhibited by novel material devices, to functionalize these properties, and to understand the underlying physics for creating device properties with significant effects at room temperature.

Recently, our research has concentrated on the chirality of materials. Chirality is a property that finds relevance not only in physics but also in chemistry, biology, and astronomy. We are especially progressing in research on spintronic devices that exploit the chirality of organic molecules. Additionally, we are investigating the device properties of topological antiferromagnetic materials—quantum materials—and developing “operando spectroscopy” techniques using femtosecond pulse lasers and X-ray spectroscopy.



キラル分子スピントロニクス: a, 特徴的なナノ構造の例。b, キラル分子と対称性。c, キラル誘起スピン選択性 (Chirality-induced spin selectivity: CISS) による熱励起スピン偏極の実証結果。

Chiral molecular spintronics: a, An example of a unique nanostructure. b, Chiral molecule and symmetry. c, Thermally driven spin polarization induced by chirality-induced spin selectivity (CISS).



量子物質スピントロニクス: a, トポロジカル反強磁性体  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  のスピン及び結晶構造。b, 分子線エピタキシー法により作製した多層膜構造の電子顕微鏡写真。c, トポロジカル反強磁性体によるトンネル磁気抵抗効果。

Quantum materials spintronics: a, Spin and crystal structure of the topological antiferromagnet  $\text{Mn}_3\text{Sn}$ . b, Transmission electron microscope image of the multilayer structure of  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  prepared by molecular beam epitaxy. c, Tunnel magnetoresistance of the topological antiferromagnet.



[https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/miwa\\_group.html](https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/miwa_group.html)

# 微細加工室

## Nanofabrication Section

担当所員 橋坂 昌幸

Chairperson : HASHISAKA, Masayuki

助教 遠藤 彰

Research Associate : ENDO, Akira

担当所員 井手上 敏也

Contact Person : IDEUE, Toshiya

技術専門職員 橋本 義昭

Senior Technical Specialist : HASHIMOTO, Yoshiaki

担当所員 島崎 佑也

Contact Person : SHIMAZAKI, Yuya

担当所員 三輪 真嗣

Contact Person : MIWA, Shinji

本室では、量子ナノ物性研究センターが保有する微細加工装置の保守・点検を行うとともに、ユーザーへの対応を行っている。微細加工室スタッフは随時ユーザーからの相談を受け付け、これに対してアドバイスや装置利用に関する講習を行う。ユーザーは所定の装置利用講習を受講することで、各装置を自ら利用できる。

This section is responsible for the maintenance and inspection of nanofabrication equipment operated by the Nanoscale Quantum Science Center, as well as for user support. Laboratory staff provide consultation services, offering technical advice and training on equipment operation. Users are required to complete designated training sessions, after which they are authorized to independently operate the equipment.

### 主要設備

電子線描画装置、集束イオンビーム装置、フォトリソグラフィー装置、各種蒸着装置、ほか

### Major Equipment

Electron beam lithography system, Focused ion beam processing system, photolithography system, various deposition systems, etc.



電子線リソグラフィー装置 (エリオニクス)。最高加速電圧は 75 kV。ビーム径は 2 nm。

Electron beam lithography system (Elionix). The highest acceleration voltage is 75 kV. The beam diameter is 2 nm.



<https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/nanofab.html>