

ナノスケール物性研究部門

Division of Nanoscale Science

ナノスケール物性科学は、物質表面付近での原子・分子レベルでの現象から無限系の量子輸送まで幅広い時空間スケールで生じる物理・化学現象をその対象とする。この分野が発展してきた背景には、超薄膜成長技術、極微細加工技術、各種表面評価手法、走査プローブ顕微鏡による局所測定技術などの発達がある。当部門では、これらを統合的に用いてナノスケール物性科学に取り組んでいる。

研究テーマの一部を以下に示す。

- ・物質の人工微細構造、複合微細構造において展開される量子・スピン輸送、
- ・走査プローブ顕微鏡を用いた局所電子状態や伝導現象の研究、
- ・固体表面において発現する新奇複合物質や表面状態、ナノスケール構造の物性、
- ・表面化学反応等のミクロな動的過程の研究、およびこれを利用した新物質の創成、
- ・各種超薄膜のエピタキシャル成長と機能物性開拓。

A wide range of phenomena from atomic or molecular processes at solid surfaces to quantum transport in infinite systems are listed as the subjects of nanoscale science. The prosperity of such fields are sustained by the development of ultra-thin film growth, nano-fabrication, various surface characterization, local measurements with scanning probe microscopes, etc. In Division of Nanoscale Science, we integrate such techniques to study various subjects such as

- Quantum and spin transport in artificial nanoscale or hybrid systems,
- Study of local electronic states and transport by scanning probe microscopes,
- Transport, magnetism and other properties of novel materials at solid surfaces,
- Microscopic analysis of dynamical processes such as chemical reaction at surfaces, and creation of new material phases,
- Epitaxial growth of ultra-thin films and device applications.

教授 Professor	勝本 信吾 KATSUMOTO, Shingo	助教 Research Associate	中村 壮智 NAKAMURA, Taketomo	技術専門員* ¹ Technical Associate	向井 孝三 MUKAI, Kozo
教授 Professor	大谷 義近 OTANI, Yoshichika	助教 Research Associate	遠藤 彰 ENDO, Akira	技術専門職員 Technical Associate	橋本 義昭 HASHIMOTO, Yoshiaki
教授 Professor	小森 文夫 KOMORI, Fumio	助教 Research Associate	一色 弘成 ISSHIKI, Hironari	技術専門職員 Technical Associate	飯盛 拓嗣 IIIMORI, Takushi
教授 Professor	長谷川 幸雄 HASEGAWA, Yukio	助教 Research Associate	土師 将裕 IHAZE, Masahiro	技術専門職員 Technical Associate	浜田 雅之 HAMADA, Masayuki
教授 Professor	リップマー ミック LIPPMAA, Mikk	助教 Research Associate	森 泰蔵 MORI, Taizo	特任研究員 Project Researcher	安藤 寛 ANDO, Hiroshi
教授* ¹ Professor	吉信 淳 YOSHINOBU, Jun	助教* ¹ Research Associate	田中 駿介 TANAKA, Shunsuke	特任研究員 Project Researcher	成塚 政裕 NARITSUKA, Masahiro
准教授* ² Associate Professor	三輪 真嗣 MIWA, Shinji	助教* ² Research Associate	坂本 祥哉 SAKAMOTO, Shoya	特任研究員 Project Researcher	ヌイェン カント ^{ウイ} NGUYEN, Khanh duy
准教授(客員) Visiting Associate Professor	高山 あかり TAKAYAMA, Akari			特任研究員 Project Researcher	ムキ ジョシヤ パトリック HOEMKE, Joshua Patric
				特任研究員 Project Researcher	水野 隼翔 MIZUNO, Hayato
				特任研究員 Project Researcher	柳澤 啓史 YANAGISAWA, Hirofumi

*¹ 所内兼務。本務は機能物性研究グループ。 / concurrent with Functional Materials Group

*² 所内兼務。本務は量子物質研究グループ。 / concurrent with Quantum Materials Group

勝本研究室

Katsumoto Group



勝本 信吾
KATSUMOTO, Shingo
教授
Professor



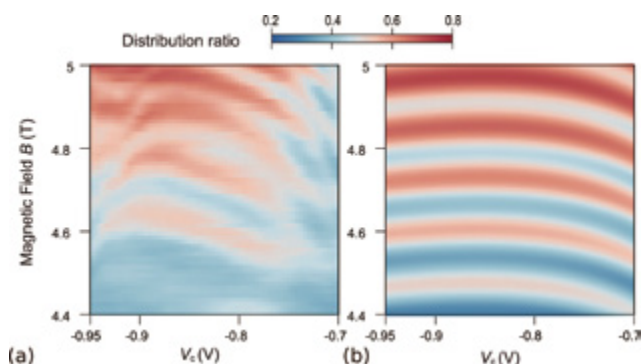
中村 壮智
NAKAMURA, Taketomo
助教
Research Associate



遠藤 彰
ENDO, Akira
助教
Research Associate

半導体や金属の超薄膜成長技術、これらを微細加工する技術を用いて、量子井戸、細線、ドットなどのナノ構造中の量子効果、多体効果を調べている。電子スピン、核スピンの織りなすスピン現象、非平衡・非断熱な量子遷移に伴う物理現象の研究を行なっている。

量子輸送現象をスピン自由度に広げる研究として、ナノ構造とスピン軌道相互作用を組み合わせた試みを行っている。ナノ構造を使い、空間反転対称性を破り局所的な軌道角運動量を導入することで、新しいタイプのスピン軌道相互作用を発生させることができる。一例が、量子ホール強磁性エッジ状態の屈曲を用いた非断熱スピン操作である。この系では、エッジ状態（軌道自由度）とスピン自由度が量子エンタングルしており、軌道操作とスピン操作の利点を実際上、同じ自由度に適用できる。非断熱スピン回転を伴う電流による超伝導制御など、新奇デバイスへの応用も期待される。

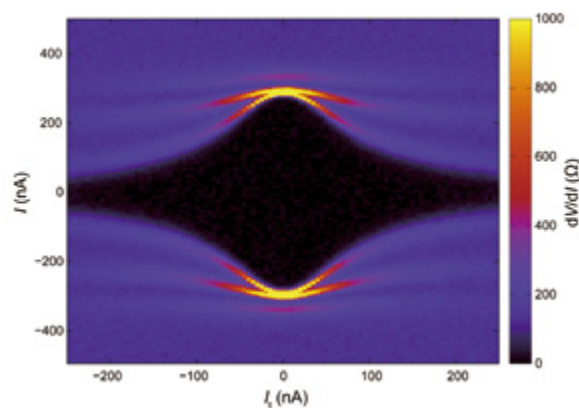


(a) 強磁性量子ホール端状態にスピン回転素子を取り付け、下流のスピン選別素子でスピンの向きを電流の分配率として測定した結果。カラープロットで表した分配率が、磁場とゲート電圧の両方に対して振動していることからスピン回転操作を確認した。(b) (a) の状況を簡単な物理モデルで再現したもの。

(a) Current distribution ratio of a device with a spin rotating emitter and a spin detection collector. The ratio is color-plotted versus the magnetic field and the gate voltage. The clear oscillation indicates unitary operation on the spin. (b) Theoretical reproduction of (a) based on a simple physical model.

With the epitaxial growth of semiconductor and metallic films and nanofabrication techniques, we study quantum effects in low dimensional systems. Our research also spans some applications of the physics of electron and nuclear spins for so-called spintronics.

To expand the concept of quantum transport to spin degree of freedom, we have tried to create spin currents in quantum structures. The nanostructures enable us to introduce new types of spin-orbit interaction by breaking the spatial inversion symmetry and creating a local orbital angular momentum. An example is the non-adiabatic unitary operation on electron spins in quantum Hall ferromagnetic edge states. Because the spin freedom and the edge states (orbital freedom) are maximally entangled in this system, the spin and the orbital operations can be utilized equivalently. Similar non-adiabatic spin rotation by the normal current can be applied to control superconductivity in a novel device.



超伝導 - 常伝導 - 超伝導接合の抵抗値を超伝導電流に直交する常伝導電流と接合電流の平面にカラープロットしたもの。黒く見える領域がゼロ抵抗の超伝導領域。

Color plot of resistance in a super-normal-super junction versus the plane of transverse current and junction current. The black region corresponds to the zero-resistance state.

研究テーマ Research Subjects

1. 量子電荷・スピン輸送現象
Quantum transport in charge and spin freedoms
2. 量子構造を用いた多体効果の研究
Study of many-body effects in quantum structures
3. 異対称性ハイブリッド構造に生じる物理現象
Physics at interfaces between the phases with different symmetries

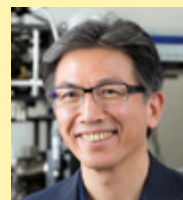
ナノスケール物性研究部門

Division of Nanoscale Science

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

大谷研究室

Otani Group



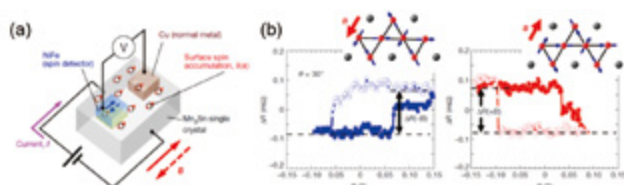
大谷 義近
OTANI, Yoshichika
教授
Professor



一色 弘成
ISSHIKI, Hironari
助教
Research Associate

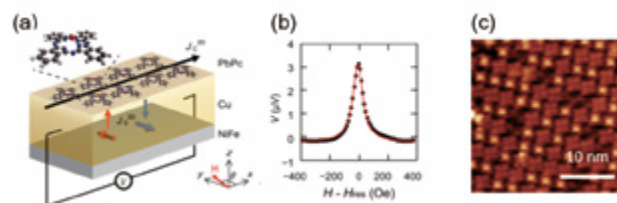
20世紀末にスピン角運動量の流れであるスピン流という概念が登場し、電流とスピン流を結びつけて効果的に利用する学理体系としてスピントロニクスが発展してきた。過去10年の間にスピン流の生成・搬送・検出の方法が確立され、スピントロニクス研究は新展開を迎えた。その結果、電子・フォノン・フォトン・マグノン等の準粒子が、固体中のスピンを媒介として、相互に変換されることが明らかになってきた。これらの『スピン変換』は、比較的単純な接合界面近傍のナノスケール領域で生じることが多いため、極めて優れた汎用性と応用性を持っている。我々の研究室では基礎物性研究の観点から、新奇なスピン変換発現機構の開拓と解明に取り組んでいる。さらに、微細加工技術を駆使して、開拓したスピン変換を利用したスピントロニクス素子の研究開発を行っている。

At the end of the 20th century, the concept of spin current, a flow of spin angular momentum, appeared. Since then, spintronics has been developing as a scientific framework that connects and effectively uses electric and spin currents. Spintronics research has entered a new stage with the establishment of the spin current generation, transport, and detection methods over the past decade. As a result, it has become clear that quasiparticles such as electron, phonon, photon, and magnon are interconverted via spins in the solid. These "spin conversion" often occur in a nanoscale region near relatively simple hetero-interfaces and thus have extremely excellent versatility and applicability. In our laboratory, we are working on the development and elucidation of a novel spin conversion mechanism from the viewpoint of nano-magnetism. Furthermore, we are conducting research and development of spintronics devices utilizing the newly developed spin conversion by making full use of nanofabrication technology.



ノンコリニア反強磁性体の磁気スピンホール効果：従来のスピンホール効果に対する磁化の寄与の発見。(a) 微細加工されたMn₃Snの上に強磁性体と非磁性体の電極が蒸着されたスピン蓄積検出素子の概略図。(b) 磁気逆スピンホール効果に由来するスピン蓄積信号。Mn₃Snのスピン状態を逆向きにすると、ヒステリシスの符号が逆になる。

Magnetic spin Hall effect in a non-collinear antiferromagnet: discovery of a magnetic contribution to the spin Hall effect. (a) Schematic of the spin-accumulation device: Ferromagnetic and non-magnetic electrodes are formed on top of a microfabricated Mn₃Sn. (b) The spin-accumulation signal caused by the magnetic inverse spin Hall effect. Opposite signs of the hysteresis appear after reversing the spins of Mn₃Sn. The corresponding spin structures of Mn₃Sn are shown in the insets.



分子 / 金属界面のスピン流 - 電流変換効果：スピンポンピング法による。(a) 分子 / 金属 (PbPc/Cu) 界面とスピンポンピングの概略図。(b) スピンポンピングにより誘起されたスピン流 - 電流変換由来の電圧信号。(c) Cu(111) 表面上に吸着された単層 PbPc 膜の走査型トンネル顕微鏡像。

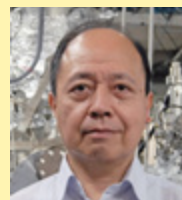
The spin-charge current conversion at the molecule/metal interface observed by employing the spin pumping method. (a) The schematics of the PbPc/Cu interface and the spin pumping measurement. (b) Spin pumping induced voltage signal originated in the spin-charge current conversion. (c) Scanning tunneling microscopy image of a single layer PbPc film on Cu(111).

研究テーマ Research Subjects

1. 新奇な純スピン流の生成および検出機構の開拓
Development of novel mechanisms of pure spin current generation and detection
2. 磁気スピンホール効果の発現機構の解明と機能性の開拓
Elucidation of the mechanism of the magnetic spin Hall effect and development of functionality
3. 新奇なスピン流 - 電流相互変換機構の開拓
Development of novel spin-to-charge current conversion mechanism
4. 分子スピントロニクス
Molecular spintronics
5. 磁気弾性強結合による高効率スピン流生成
Efficient pure spin current generation by magnon-phonon coupling

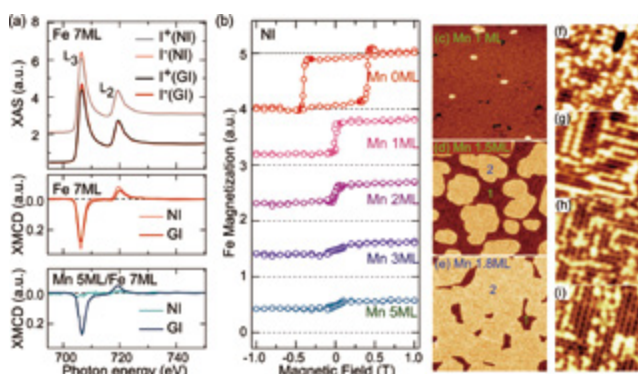
小森研究室

Komori Group



小森 文夫
KOMORI, Fumio
教授
Professor

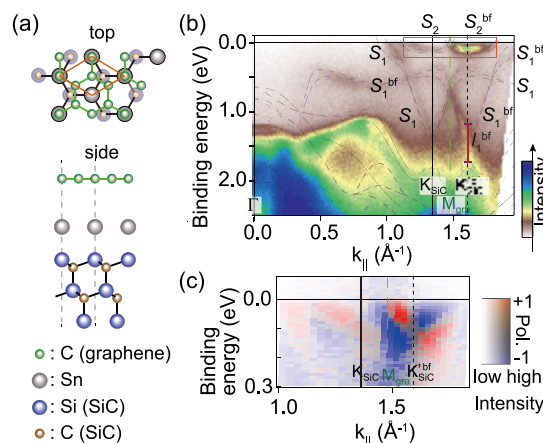
固体表面に形成される低次元系とナノ構造原子層物質の電氣的磁氣的性質を明らかにすることを目標に、超高真空中で走査トンネル顕微鏡 (STM)、光電子分光、磁気カー効果 (MOKE) 測定、および放射光分光を用いて研究を行なっている。STM を用いたトンネル分光では局所的な電子・スピン状態と準粒子干渉によるバンド構造解析、スピン角度分解光電子分光 (SARPES) では電子状態のスピンと波数依存性を、MOKE と軟 X 線放射光分光では磁性を調べている。また、時間分解光電子分光や準粒子干渉測定によって表面での電子励起・散乱・緩和機構と、トンネル電子やレーザー光による電子励起後の新奇物質生成機構に関して、原子スケールの動的過程についても研究している。



(a) Cu(001) 面上の 7-ML Fe 膜の Fe $L_{2,3}$ 残留 XAS (上)、XMCD (中央)、および 5-ML Mn/7-ML Fe 膜の XMCD (下)。入射 X 線は膜に垂直 (NI) および斜め 55° (GI) で、外部磁場は入射 X 線に平行である。(b) NI-XMCD で測定された最大 5 ML の Mn 膜が付いた 7-ML Fe 膜上へテロ構造における鉄の磁化曲線。(c-e) Mn を蒸着した 7-ML Fe フィルムの STM 画像。(f-i) 1.0-ML (f)、1.5-ML (g)、1.8-ML Mn 膜 (最初の (レベル 1) (h) および 2 番目の (レベル 2) (i) レベル) の高解像度 STM 画像。

(a) Fe $L_{2,3}$ remanent XAS (upper) and XMCD (middle) of a 7-ML Fe film on Cu(001), and XMCD (lower) of a 5-ML Mn/7-ML Fe film in the normal (NI) and 55° grazing (GI) incidence. External magnetic field is parallel to the incident x-ray. (b) Iron magnetization curves in the heterostructures of Mn overlayers up to 5 ML on the 7-ML Fe film measured by NI-XMCD. (c-e) STM images of 7-ML Fe films with Mn overlayers. (f-i) High-resolution surface STM images of 1.0-ML (f), 1.5-ML (g), 1.8-ML films (first (level-1) (h) and second (level-2) (i) levels).

Electronic and magnetic properties of low-dimensional and atomic-layer materials with nanometer-scale structures at solid surfaces are studied in an ultra-high vacuum using scanning tunneling microscopy/spectroscopy (STM/STS), photoelectron spectroscopy, and magneto-optical Kerr-rotation. Atomic, electronic and magnetic structures, formation processes, and dynamical processes induced by electron tunneling or photo-excited carriers are examined microscopically by local imaging, spectroscopy and quasi-particle interference observations using spin-resolved STM/STS. Spin-dependent electronic structures, magnetic properties, electron dynamics and chemical bonds are macroscopically investigated by photoelectron and optical spectroscopy using visible and ultraviolet light and soft-X-ray from laser and synchrotron.



(a) グラフェン / SiC (0001) 界面に挿入された Sn 単原子層の構造モデル。(b) ΓK_{SiC} に沿った Sn 単原子層の ARPES 強度画像。計算されたバンド構造を重ね合わせてある。カラースケールは光電子の強度を表し、灰色 (紫色) の破線は元の (折り畳まれた) バンドを示す。2 つの表面バンド S_1 と S_2 、およびそれらの折り返しバンド S_1^{bf} と S_2^{bf} がマークされている。(c) (b) の長方形で囲まれた E_F 付近の S_2 および S_2^{bf} バンドを含む領域の SARPES 強度画像。 k_{\parallel} に垂直スピン分極成分が検出されている。2次元カラースケールは、光電子強度とスピン分極の両方を表している。

(a) Atomic structure model of a Sn monolayer intercalated into the graphene/SiC(0001) interface. (b) ARPES intensity image of the Sn monolayer along ΓK_{SiC} with overlaying the calculated band structure. The color scale represents the photoelectron intensity, and gray (purple) dashed curves the calculated original (back-folded, bf) bands. Two surface bands, S_1 and S_2 , and their back-folded bands, S_1^{bf} and S_2^{bf} , are marked. (c) SARPES intensity images taken with the region including S_2 and S_2^{bf} bands near E_F surrounded by a thin rectangle in (b). The spin polarization component perpendicular to k_{\parallel} is detected. The two-dimensional color scale represents both the photoelectron intensity and the spin polarization.

研究テーマ Research Subjects

1. 単原子層・表面ナノ構造物質の電子状態、磁性および伝導
Electronic states, magnetism and electron scattering of atomic layers and nano-structured materials at surfaces
2. 単原子層・表面ナノ構造物質の形成過程
Formation processes of atomic layers and nano-structured materials at surfaces
3. トンネル電子やレーザー光励起による電子・原子動的現象
Electron and atom dynamics induced by electron tunneling and photo-excitation

長谷川研究室

Hasegawa Group



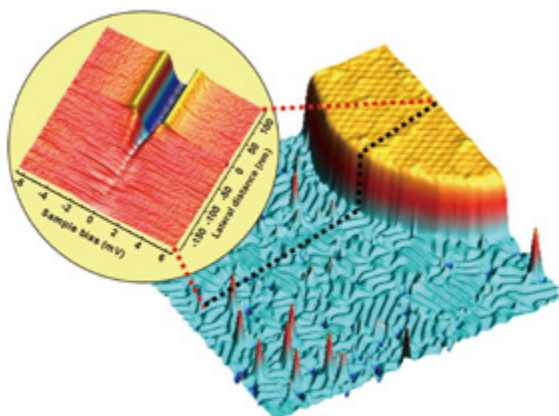
長谷川 幸雄
HASEGAWA, Yukio
教授
Professor



土師 将裕
HAZE, Masahiro
助教
Research Associate

走査トンネル顕微鏡 (STM) は、その像を通じて表面の原子構造を明らかにするのみならず、トンネル分光測定によりサブナノ領域での電子状態に関する知見を与え、さらにはスピン偏極 (SP-) STM による局所磁気特性や表面スピン構造、非弾性トンネル分光 (IETS) による種々の局所励起エネルギーに関する情報を引き出すことができる。

長谷川研究室では、極低温強磁場下で動作する STM 装置を用いて、表面超伝導など反転対称性の破れた二次元系での超伝導特性、磁性体との近接効果により誘起される特異な超伝導・トポロジカル状態の観測を試みている。また、SP-STM による磁性薄膜でのスピンスパイラルなど特異な局所磁気構造観察、SP-IETS によるスピン励起、マイクロ波導入によるナノ構造での磁気共鳴計測、スピン偏極局所ポテンショメトリによるスピン流計測等の研究も推進している。最近では、CeCoIn₅ などの重い電子系物質の電子状態や局所超伝導・磁気特性の研究にも取り組んでおり、軌道秩序構造の実空間観察にも成功している。

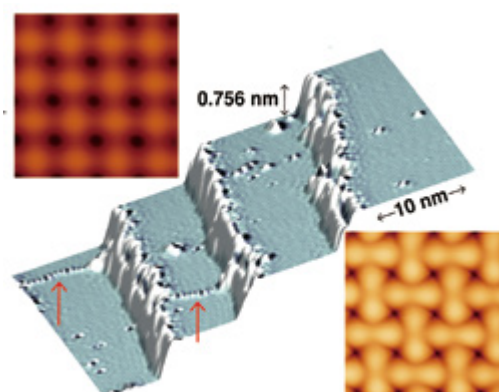


超伝導金属界面での近接効果。Si 基板上の 1 原子層 Pb (水色、常伝導相) と Pb 薄膜 (黄色、超伝導相) の界面近傍で測定されたトンネル分光スペクトルから、超伝導特性が界面から 40nm の領域にわたって染み出していることが観察されている。

Proximity effect at superconductor/metal interface. Tunneling spectra taken around an interface between 1ML-Pb layer on Si (blue, normal metal) and a Pb thin film (yellow, superconductor) indicate the penetration of superconductivity into the metal layer with a decay length of 40 nm.

Scanning tunneling microscopy (STM) reveals not only atomic structure of surfaces but also electronic states in sub-nanometer areas by tunneling spectroscopy. With a function of spin-polarized (SP-) STM, the microscope also provides local magnetic properties and surface spin structures, and with inelastic tunneling spectroscopy (IETS), various excitation energies can be extracted.

In Hasegawa-lab., by using STMs operated in ultralow temperature and high magnetic field, peculiar local superconducting and topological states that can be found in surface superconductors, whose inversion symmetry is broken, and in the proximity with ferromagnetic materials, have been explored. We have also studied local magnetic properties of spin-spiral structures using SP-STM, spin excitation with SP-IETS, magnetic resonances through the introduction of microwaves, and spin current detection using SP-potentiometry. Recent subjects include heavy-fermion materials, such as CeCoIn₅; orbital ordering was observed for the first time in a real space.



重い電子系物質 CeCoIn₅ で観測された表面軌道秩序状態。Co 終端面での通常の STM 像 (中央および左上図) では、丸い形状の Co 原子像が見られるが、探針を近づけて撮った像 (右下図) では、ダンベル形状の d 軌道が秩序構造を形成していることが観察された。詳細な解析により、表面にのみ誘起された構造であることが判明している。

Surface-induced orbital ordered states observed on a heavy-fermion material CeCoIn₅. In STM images taken on a Co-terminated surface in standard conditions, round-shaped Co atoms are observed (center and upper-left images). On the other hand, in STM images taken in closer distances (lower-right) we observed an ordered phase of dumbbell-shaped d-orbitals. Detailed analysis revealed that the ordered structure is formed only on the surface layer.

研究テーマ Research Subjects

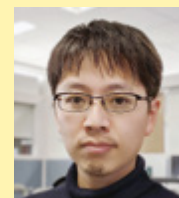
1. 低温 STM による特異な超伝導 / トポロジカル特性の探索
Exploration of peculiar superconducting / topological states using low-temperature STM
2. スピン偏極 STM へのマイクロ波導入によるナノスケール磁気共鳴計測
Nanoscale measurements of magnetic resonances by SP-STM with microwave
3. スピン偏極走査ポテンショメトリによるスピン流の実空間計測
Real-space distribution of spin currents by spin-polarized scanning potentiometry

リップマー研究室

Lippmaa Group



リップマー ミック
LIPPMAA, Mikko
教授
Professor



森 泰蔵
MORI, Taizo
助教
Research Associate

分子線エピタキシー法を用いて原子的に平滑な酸化物を形成することで、界面における特異な電気・磁気特性を観測できる。たとえば、デルタドーピングされた界面において二次元層間に閉じ込められたキャリア輸送特性を明らかにした。図1は、SrTiO₃上に単層もしくは二層のLaTiO₃層を成長させた後、さらにSrTiO₃を堆積させ形成したSrTiO₃/LaOヘテロ構造である。各La層により供与された余剰電子のいくつかは、電荷移動を介して隣接したSrTiO₃層へドーピングされる。このヘテロ構造内では、一部の電子は局在化したり、金属的量子井戸を形成したり、基板に深部に広がったりと、多数の電子分布を形成する。表面空乏層や静電ゲーティングを活用しドーピング層におけるLaの原子数を調節することで、電子分布のなす相対的な割合を調整でき、それに伴い磁気輸送特性が明確な変化した。図2に示すように、キャリア数が増加すると面内磁気抵抗の変動が観察される。

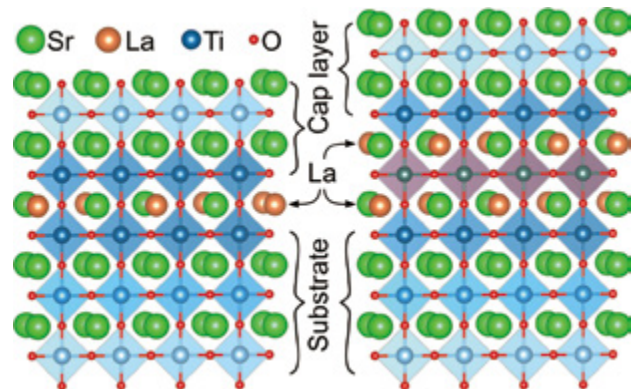


図1. La, Sr デルタドーピングによる形成された SrTiO₃O ヘテロ構造。チタン格子間にある (La,Sr)O 層の数によりドーピングされるキャリア数が制御される。

Fig. 1. Delta-doped SrTiO₃ heterostructures where the number of doped carriers is controlled by the number of (La,Sr)O layers in the titanate lattice.

The ability to grow atomically flat oxide thin films by laser molecular beam epitaxy allows us to study the transport behavior of carriers accumulated in two-dimensional layers at delta-doped interfaces. Fig. 1 shows examples of such heterostructures where a single or double layer of LaTiO₃ was grown on a SrTiO₃ and capped with another SrTiO₃ layer. Each La atom donates an extra electron, some of which will dope the adjacent SrTiO₃ layers by charge transfer. We find that multiple electron populations form in this structure, with some electrons localized at the interface, some forming a metallic quantum well, and some spreading deep into the substrate. The relative sizes of these different populations can be tuned by adjusting the total La number in the doping layer, by utilizing surface depletion, or using electrostatic gating. We can observe distinct changes in the magnetotransport behavior when the relative electron population sizes change, as illustrated in Fig. 2, which shows the variation of in-plane magnetoresistance when the carrier number is changed.

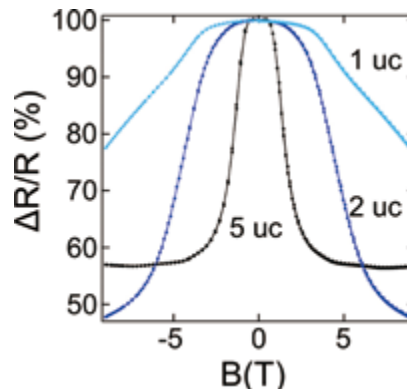


図2. SrTiO₃/LaOヘテロ構造の面内磁場抵抗。磁場を電流方向に対して平行に印加し測定した。面内磁気抵抗がチタン格子間の原子層LaOの層数(1, 2, 5)により変動する。

Fig. 2. In-plane magnetoresistance, measured with the magnetic field parallel to the current flow, for heterostructures doped by 1, 2, or 5 LaO atomic layers in the titanate lattice.

研究テーマ Research Subjects

1. パルスレーザー堆積法による酸化物薄膜そしてヘテロ構造の作製
Growth of thin oxide films and heterostructures by pulsed laser deposition
2. 水分解光電極反応の高効率化に向けた酸化物半導体材料の開発
Development of oxide photoelectrode materials for photocatalytic water splitting
3. 酸化物ナノ構造またはナノコンポジット薄膜の合成
Synthesis of nanostructures and nanocomposite thin films
4. 新規な有機-無機界面の創出
Development of novel organic - inorganic interfaces

高山研究室

Takayama Group



高山 あかり
TAKAYAMA, Akari
客員准教授
Visiting Associate Professor

基板上の2次元原子層物質においては、原子層の表面(真空側)と裏面(基板側)で空間反転対称性が異なるため、結晶とも、Free-standingな単原子層とも異なる物性を持つことが期待される。特に、2次元物質では表面の原子の再構成、異分子の吸着、表面下の数原子層にたる原子配列の緩和、基板の影響により、わずかな構造の違いでも全く異なる物性が発現することもあり、新たな物性の発現が予測できると考えられている。

本研究室では、角度分解光電子分光 (ARPES)、走査トンネル電子顕微鏡 / 分光測定 (STM/STS)、全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) などの様々な実験手法を組み合わせ、表面 Rashba 系超伝導における非 BCS 型の超伝導現象の起源の解明や、グラフェンやポロフェンなどの単元素・単原子層のディラック電子系の特性、トポロジカル物質群の表面・エッジスピン物性の解明など、表面原子層物質の物性測定と構造解析の両面から研究を行なっている。

In a two-dimensional (2D) atomic-layer material it is expected that anomalous physical properties appear due to the broken space inversion symmetry. Especially in the case of two-dimensional materials on a substrate, its physical properties differ to bulk crystal and free-standing atomic-layer sheet due to the surface reconstruction, adsorption and defect, relaxation of the atomic arrangement over several atomic layers below the surface.

In our laboratory, we study physical properties of atomic-layer materials by using various experimental methods such as angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES), scanning tunneling electron microscope/spectroscopy (STM/STS), and total reflection high-energy positron diffraction (TRHEPD). In particular, we focus on unconventional superconducting properties of the one atomic-layer alloy with the Rashba spin splitting bands, characteristics of the Dirac electron system like graphene and borophene, and physical properties of topological materials.