

ナノスケール物性研究部門

Division of Nanoscale Science

近年の物性物理学の発展で特筆すべきものの一つに、原子レベルで制御された表面・界面、人工超格子、極微細構造など対象とする研究の著しい進展がある。この背景には、エピタキシャル成長技術、極微細加工技術、各種の表面評価手法、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。ナノスケール物性研究部門では、そのような技術を利用して、表面界面および人工物質人工構造を対象とするナノスケール・サイエンスに取り組んでいる。

研究活動として、

- ・半導体・金属・超伝導体・磁性体などの微細構造およびそれらの複合微細構造において展開される低温量子・スピン輸送の研究、
 - ・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ナノスケール構造の物性、
 - ・固体表面における化学反応等の動的過程の原子レベルでの研究、およびそれを利用したナノスケール新物質の創製、
 - ・酸化物薄膜のエピタキシャル成長とその機能物性開拓、
- などが進行中である。

One of the outstanding trends in modern condensed matter physics is the rapid development in studies of atomically controlled surfaces and interfaces, artificial superlattices and micro and nano-structures. The background of such developments is the advancement of key technologies for epitaxial crystal growth, microfabrication, surface characterization, and local sensing by use of scanning probe microscopes. In the Division of Nanoscale Science, the research efforts of seven groups are directed to various aspects of nanoscale science at surfaces, interfaces, and artificial materials/structures.

The on-going research activities include

- Study of low temperature quantum and spin transport in mesoscopic structures of semiconductors, metals, superconductors, magnetic materials and their hybrid structures.
- Study of local electronic states and transport phenomena by scanning probe microscopes.
- Study of transport, magnetism and other properties of novel materials at solid surfaces.
- Study of dynamical processes such as chemical reaction at solid surfaces at the atomic level and creation of new material phases.
- Study of epitaxial growth of oxide thin films and their functional properties.

教授 家 泰弘
Professor Yasuhiro IYE

教授 勝本 信吾
Professor Shingo KATSUMOTO

教授 大谷 義近
Professor Yoshichika OTANI

教授 小森 文夫
Professor Fumio KOMORI

准教授 吉信 淳
Associate Professor Jun YOSHINOBU

准教授 長谷川 幸雄
Associate Professor Yukio HASEGAWA

准教授 リップマー ミック
Associate Professor Mikk LIPPMAA

教授(客員) 中村 潤児
Visiting Professor Junji NAKAMURA

助教 遠藤 彰
Research Associate Akira ENDO

助教 吉本 真也
Research Associate Shinya YOSHIMOTO

助教 高橋 竜太
Research Associate Ryota TAKAHASHI

助教 新見 康洋
Research Associate Yasuhiro NIIMI

助教 吉田 靖雄
Research Associate Yasuo YOSHIDA

助教 中村 壮智
Research Associate Taketomo NAKAMURA

助教 宮町 俊生
Research Associate Toshio MIYAMACHI

助教 木俣 基
Research Associate Motoi KIMATA

技術専門職員 向井 孝三
Technical Associate Kozo MUKAI

技術専門職員 飯盛 拓嗣
Technical Associate Takushi IIMORI

技術専門職員 橋本 義昭
Technical Associate Yoshiaki HASHIMOTO

技術専門職員 浜田 雅之
Technical Associate Masayuki HAMADA

特任研究員 青木 達也
Project Researcher Tatsuya AOKI

特任研究員 金 皓元
Project Researcher Howon KIM

特任研究員 清水 皇
Project Researcher Sumera SHIMIZU

特任研究員 小坂谷 貴典
Project Researcher Takanori KOITAYA

家研究室

Iye Group



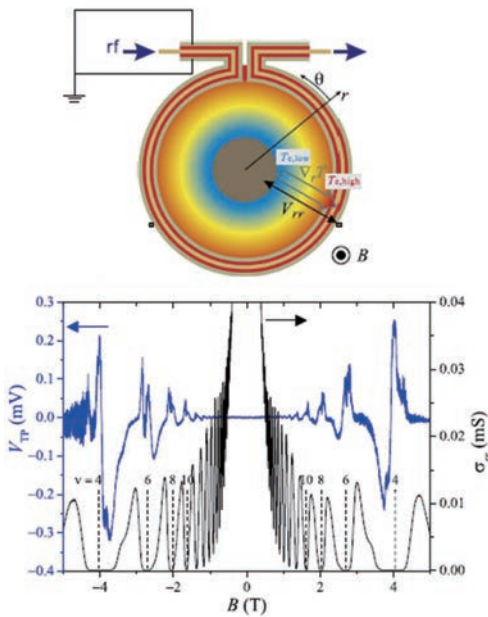
家 泰弘
Yasuhiro IYE
教授
Professor



遠藤 彰
Akira ENDO
助教
Research Associate

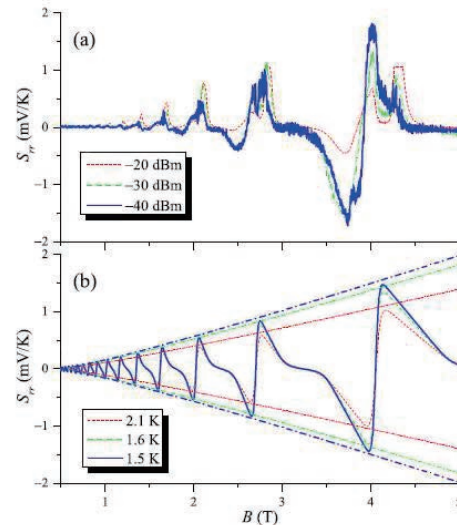
GaAs/AlGaAs 半導体界面 2次元電子系の熱起電力には、一般にキャリア拡散項とフォノンドラッグ項とがあり、ヒーターによって温度勾配をつける通常の測定では後者が支配的となる。我々は電子温度のみを上げることによりキャリア拡散項のみを抽出する手法を用いて、量子ホール領域の熱起電力を調べている。本実験では、コルビノ型電極配置においてマイクロ波による局所加熱によって S_{rr}^C を測定した。コルビノ配置における動径方向の拡散熱起電力は $S_{rr}^C = \epsilon_{rr}/\sigma_{rr}$ で与えられる。ホールプラトー領域において S_{rr}^C が大きな値をとり、しかもプラトーの中央において符号が反転するという特徴的なふるまいが観測された。これらのふるまいは、自己無撞着ボルン近似を用いた計算の結果と良く一致している。

Thermopower of two-dimensional electron system (2DES) at a GaAs/AlGaAs heterointerface generally consists of a carrier diffusion term and a phonon-drag term, and the latter contribution is dominant in an ordinary experimental condition in which temperature gradient is generated by a heater. We investigate the thermoelectric effects in quantum Hall regime by adopting a technique to raise only the electron temperature and thereby to extract the diffusion term. In the present study, a Corbino-type electrode geometry, and a microwave heating technique are employed. The radial diffusion thermopower S_{rr}^C in the Corbino geometry is given as $S_{rr}^C = \epsilon_{rr} / \sigma_{rr}$, (with ϵ_{rr} , thermoelectric conductivity, and σ_{rr} , conductivity). The measured S_{rr}^C takes large values and changes its sign at the midpoint of the Hall plateau. This behavior is well reproduced by a theoretical calculation based on the self-consistent Born approximation.



上図:コルビノ型電極配置。 下図:動径方向の伝導度 S_{rr} (黒) と熱起電力 V_{rr} (青) の磁場依存性。

Upper panel: Corbino-type electrode geometry with microwave heating
 Lower panel: Magnetic field dependence of the radial conductivity σ_{rr} and thermovoltage V_{rr} .



(a) 熱起電力 S_{rr} の測定データ。3つのデータはマイクロ波加熱パワーの違いによる。(b) 高温部の温度のいくつかの値に対する熱起電力の計算値。ホールプラトー領域のふるまいが再現されている。

(a) Experimental data of thermopower S_{rr} . The three curves correspond to different levels of microwave heating. (b) Calculated thermopower for different values of the temperature at the heated part. The behavior in the Hall plateau region is well reproduced.

研究テーマ Research Subjects

1. 空間変調構造下の 2次元電子系の量子輸送現象
Quantum transport in 2DEG systems under artificial potential modulation
2. 量子ホール系における熱伝効果と高周波伝導
Thermoelectric effects and a.c. transport in quantum Hall systems
3. グラファイト、グラフェンの量子伝導
Quantum transport in graphite and graphene

勝本研究室

Katsumoto Group



勝本 信吾
Shingo KATSUMOTO
教授
Professor



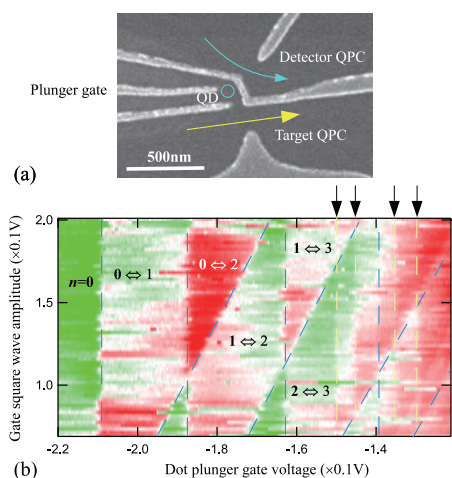
中村 壮智
Taketomo NAKAMURA
助教
Research Associate

半導体超薄膜、金属薄膜成長技術、そして薄膜を更に微細加工するリソグラフィ技術を主に使用し、量子井戸、量子細線、量子ドットなどの低次元系、これらを組み合わせたハイブリッド量子回路系における量子効果、量子多体効果を調べている。また、電子スピン、核スピンを使ったスピントロニクス、量子情報操作、超伝導論理素子などへの応用も視野に入れた研究を行なっている。

現在は、スピントロニクス系ではスピン軌道相互作用の強い系での量子構造と非平衡電流によるスピン流創出と、量子ドットを用いたスピン偏極検出、更にはスピン量子情報操作を目指した研究、また、量子ドットのような局在性の強い系を使った高効率のスピン注入の研究が中心である。また、やはりスピン軌道相互作用の強い系で量子細線を作製し、超伝導体と接触させることで生じるアンドレーフ束縛状態の物理を調べている。

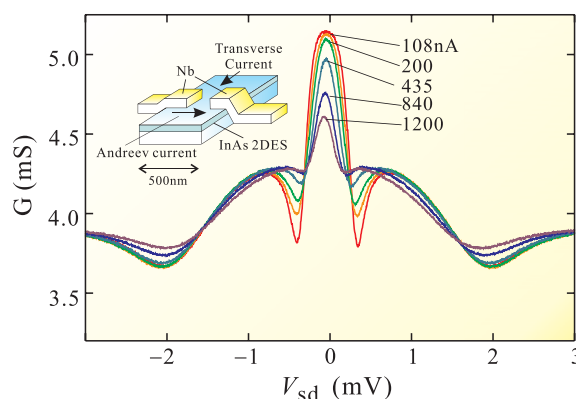
With the techniques of epitaxial growth of high quality semiconductor films, vacuum depositions of metallic films, and lithography from micron to a few tens of nanometers, we prepare low dimensional systems such as quantum wells, wires and dots and quantum circuits composed of them to study the quantum many body effects. Our research interests also go to some applications of the physics of electron and nuclear spins to so called spintronics, and quantum information manipulation, classical logic devices with the use of superconductivity.

One of our present primary subjects is the creation of spin currents in non-magnetic semiconductor quantum structures with electric currents and the spin-orbit interaction and the detection of the resultant spin polarization with a side-coupled quantum dots. Another is the spin injection from ferromagnets into semiconductors via almost localized states in quantum dots. We are also studying the physics of the Andreev bound states appear at boundaries between semiconductor nanowires with strong spin-orbit interaction and superconductors.



(a) 量子ポイントコンタクト (QPC) を通過する電流のスピン偏極を測定する素子の電子顕微鏡写真。(b) 測定用量子ドット (QD) のゲート電圧を横軸、これに重畳した矩形波の振幅を縦軸に、測定用 QPC の伝導度変化を緑-白-赤のイメージプロットで示した。記入された数字は QD 中の電子数。矢印は励起状態を表す。

(a) Electron beam micrograph of a device to detect spin polarization in a quantum point contact (QPC). (b) Green-white-red image plot of the QPC conductance variation as a function of the plunger gate voltage of the detector quantum dot (QD) and the amplitude of the square wave superposed. The numbers indicate the number of electrons in the QD and the vertical arrows indicate excited states.



Nb 電極で挟んだ InAs 量子細線 (挿入図は素子構造) のアンドレーフ束縛状態 (ABS) を通した伝導度を Nb 間電圧の関数としてプロットしたもの。ABS と交流ジョセフソン効果の共鳴として観測される振動は、InAs に流す電流で生じるスピンホール効果により大きく制限される。

Conductance of an InAs quantum wire through Andreev bound states (ABSs) as a function of source-drain voltage. The inset shows the device structure. The oscillation due to the resonance between the ABSs and the AC Josephson effect is largely diminished with the spin Hall effect caused by the current through the InAs quantum wire.

研究テーマ Research Subjects

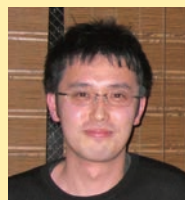
1. 半導体中のスピン流生成と検出
Creation and detection of spin current in semiconductors
2. 量子構造を用いた多体効果の研究
Study of many-body effects in quantum structures
3. 半導体 - 超伝導ハイブリッド構造に生じる物理現象
Study of peculiar phenomena in superconductor-semiconductor hybrid structures
4. 希薄磁性半導体の物性
Transport and magnetism in diluted magnetic semiconductors

大谷研究室

Otani Group



大谷 義近
Yoshichika OTANI
教授
Professor



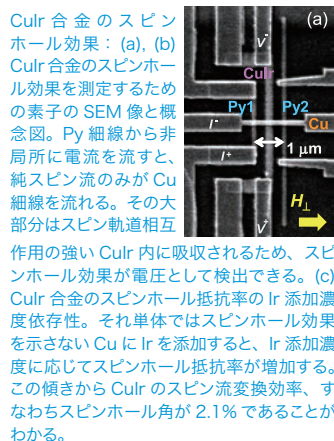
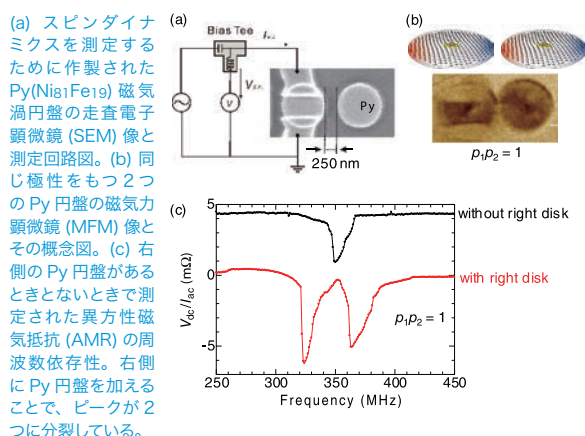
新見 康洋
Yasuhiro NIIMI
助教
Research Associate



木俣 基
Motoi KIMATA
助教
Research Associate

ナノスケールの微小磁性体中には、その形状やサイズを反映した磁区構造が形成される。例えば磁気円盤中に生成する磁気渦はその中心に極性と旋回という2つの自由度をもち、それらを2次元配列させた「磁気人工格子 (マグノニック結晶)」を設計・作製することにより次世代磁気記憶・演算素子として発展が期待される。我々はこれらナノスケール磁性体を作製し、その静的及び動的な基礎磁気物性を実験的に調べている。また、ナノスケール磁性体を利用して、電荷の流れを伴わない「純スピン流」と呼ばれるスピン角運動量のみの流れを作り出すことができる。この純スピン流を非磁性体金属、超伝導体や有機物に注入することで、スピンホール効果、スピン注入磁化反転、スピン蓄積効果などさまざまな興味深い現象を観測することが可能となる。最終的にはスピン注入によって生じる新規なスピントロニクス素子の研究開発を目指している。

Various domain structures such as magnetic vortices and single domains are formed in nano-scale magnets, depending on their shape and size. The magnetic vortices, for example, have two degrees of freedom, i.e., polarity and chirality, and allow us to design an artificial magnetic lattice called “magnonic crystal” consisting of several magnetic vortices. These are expected to be next-generation magnetic memory and logic devices. We fabricate nano-scale magnets to experimentally study their fundamental static and dynamic magnetic properties. We also use nano-scale magnets to produce “pure spin current” which transfers no electric charges but only spin angular momentums. By injecting the pure spin current into non-magnetic metals, superconductors and organic materials, we are able to observe various interesting phenomena such as spin Hall effects, the spin injection induced magnetization reversal, and the spin accumulation. We aim to study and develop new types of spintronic devices using the spin injection techniques.



(a) Schematic drawing for measurements of spin dynamics in magnetic vortices fabricated with Py (Ni₈₁Fe₁₉) and an SEM image of two Py disks. (b) MFM image of the two Py disks with the same polarity and the corresponding schematic drawing. (c) AMR signals as a function of frequency with and without the right Py disk. By adding the right Py disk, one peak splits into two peaks.

Spin Hall effect (SHE) in CuIr alloys: (a), (b) SEM image and schematic of a spin Hall (SH) device. When an electric charge current is applied non-locally to a Py/Cu junction, only a pure spin current is induced along the Cu bridge. Most of the pure spin current is then absorbed into a CuIr wire because of its strong spin-orbit interaction. As a result, one can detect the SHE as a voltage. (c) SH resistivity of CuIr as a function of Ir concentration. When Ir impurities are added to Cu showing no SHE, the SH resistivity increases with increasing the Ir concentration. The slope yields the conversion efficiency from the charge to spin current, i.e. the SH angle of 2.1 %.

研究テーマ Research Subjects

1. ナノスケール磁気渦格子を用いたスピンドायナミクスの研究
Spin dynamics in nano-scale magnetic vortex lattice
2. スピンホール効果を用いたスピン流生成機構の研究
Study for the mechanism of spin current generation via spin Hall effect
3. スピン流を用いた磁気相転移
Magnetic phase transition using spin current
4. 強磁性 / 超伝導体複合素子におけるスピン注入
Spin injection into superconductor/ferromagnet hybrid devices
5. 有機導体のスピン注入誘起物性
Spin injection induced properties in organic materials

小森研究室

Komori Group



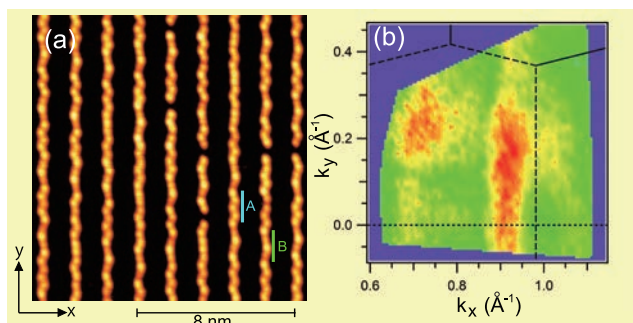
小森 文夫
Fumio KOMORI
教授
Professor



宮町 俊生
Toshio MIYAMACHI
助教
Research Associate

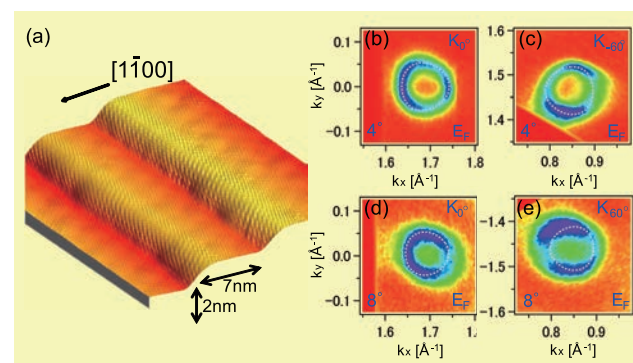
固体表面に形成される低次元系とナノスケール物質の電氣的磁氣的性質を明らかにすることを目標に、超高真空中で走査トンネル顕微鏡 (STM)、光電子分光、磁気カー効果 (MOKE)・第二高調波発生 (SHG) 測定を用いて研究を行なっている。STMを用いたトンネル分光では局所的な電子状態を、角度分解光電子分光ではフェルミエネルギー以下の電子状態を、MOKE/SHG 測定では磁性を調べている。また、ナノスケール化合物の研究において重要な試料生成機構に関して、原子スケールの動的過程を調べている。表面では、トンネル電子やレーザー光によって励起された電子系のエネルギーが格子系へ緩和する過程を用いて、新奇な物質を作製することもできる。そこで、トンネル電子注入による原子移動緩和や不純物ポテンシャル散乱機構について研究している。

Electronic and magnetic properties of alloys, compounds and other materials with nanometer-scale structure at solid surfaces are studied using scanning tunneling microscopy/spectroscopy (STM/STS), photoelectron spectroscopy and magneto-optical Kerr-rotation(MOKE)/second harmonic generation(SHG) measurements in an ultra high vacuum. Band structures of the filled surface states and the chemical bonds are studied by photoelectron spectroscopy using VUV light and soft-X-ray. Local atomic and electronic structures, formation processes of surface nano-structured materials and dynamical processes induced by electron tunneling or photo-excited carriers are examined by STM/STS. Local atomic structure can be manipulated through electron-lattice interaction by electronic excitation of tunneling electrons and photons.



金吸着 Ge(001) 表面上にできた 1 次元構造の STM 凹凸像 (a) とフェルミ面付近のバンドマップ (b)。表面の最も高い位置には、原子サイズの凸部が線状に並んでいる。凸部は A のようにジグザグに並んでいる場所と B のように矢型になっている場所がある。フェルミ面近傍では、バンドは表面の凸部の線方向にはほとんど分散せず 1 次元的であるが、0.1eV 以下では、異方的な 2 次元バンドとなる。

Topographic image (a) and the Fermi-surface band mapping (b) of Au-adsorbed Ge(001) surface. Atomic-size protrusions align one-dimensionally on the surface. The one-dimensional structure consists of zigzag (A) and chevron (B) segments. The band at the Fermi surface very weakly disperses in the direction parallel to the line of the surface protrusions whereas the band disperses two-dimensionally in the occupied states below 80 meV from Fermi energy.



(a) 8 度傾斜した SiC(0001) 基板上に熱分解によって作製した 1 層グラフェンの STM 像。グラフェンは、SiC(0001) テラス上とステップ上を連続的に覆っている。(b-e) 4 度 (b,c) および 8 度 (d,e) 傾斜した SiC(0001) 基板上に作製した 1 層グラフェンのフェルミ面バンドマッピング。各々二つの K 点での π^* バンド形状が示されている。点線は平坦なグラフェンで予想されるバンド形状である。8 度傾斜した基板上では、傾斜方向の電子群速度が小さくなり、一軸性の異方性がある。

(a) STM image of single layer graphene grown on 8°-off SiC(0001) substrate by thermal decomposition. Graphene covers both the step edges and terraces continuously. (b-e) Constant-energy angle-resolved photoemission spectroscopy intensity maps at E_F for the graphene samples formed on the 4° (b,c) and 8°-off (d,e) substrates around K_0° (b,d), K_{-60° (c), and K_{+60° (e). Here 0 degree indicates the tilting direction of the substrate. Dotted curves represent the constant-energy ideal π^* band shape including the trigonal warping for flat graphene. The observed shape of the Dirac band for the 4°-off substrate is consistent with the ideal graphene while that for the 8°-off substrate is elongated in the tilting direction.

研究テーマ Research Subjects

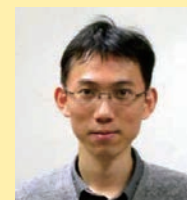
1. 表面ナノ構造物質の電子状態、伝導および磁性
Electronic states, conduction and magnetism of nano-structured materials
2. トンネル電子やレーザー光励起による表面動的現象
Surface dynamical phenomena induced by electron tunneling and photo-excitation
3. 表面ナノ構造物質の形成過程
Formation processes of nano-structured materials at surfaces

吉信研究室

Yoshinobu Group

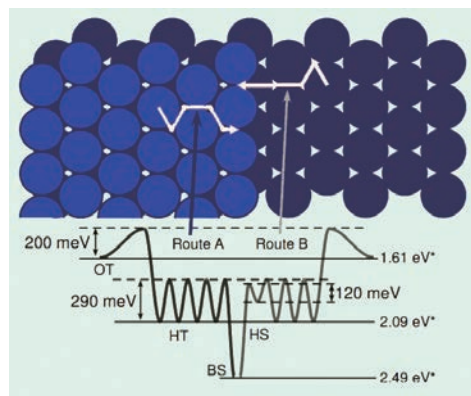


吉信 淳
Jun YOSHINOBU
教授
Professor



吉本 真也
Shinya YOSHIMOTO
助教
Research Associate

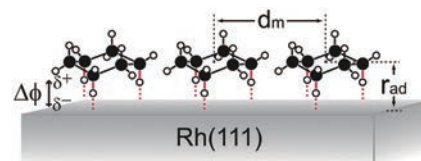
表面界面の特徴の一つは、バルクの対称性が破れ表面特有の構造や物性が現れることだけではない。外部から原子・分子を自在に表面に供給し、新しい物質を構築できる「反応場」として利用できることが特徴である。最近では、原子・分子レベルで制御されたナノマテリアル（例えば、サイズの整ったクラスター、異方性の強い低次元化合物、配向の特定された分子凝集系など）や、ナノスケールで人工デバイス構造を作製することも可能になってきた。原子スケールで反応を制御するためには、表面における物質移動や反応などを理解することが不可欠である。表面ダイナミクスの研究は、触媒反応・半導体プロセス・分子エレクトロニクスと密接に関連しており、宇宙における分子進化についても手掛かりを与えてくれる。当研究室では、表面や界面における原子・分子の動的挙動（吸着、拡散、成長、脱離）、表面ナノ物質の構築および表面界面の電子物性を、表面振動分光、光電子分光などの表面分光法と走査型トンネル顕微鏡や独立駆動4探針電気伝導測定法を駆使して研究している。必要に応じてシンクロトロン放射光（KEK-PF、SPring8 など）を用いた実験も行っている。



時間分解赤外反射吸収分光 (TR-IRAS) により決定された Pt(997) 表面における吸着 NO 分子のポテンシャルエネルギー面

The potential energy surface of adsorbed NO species on Pt(997)

Solid surfaces are intriguing objects, because novel structures and electronic properties emerge as a result of symmetry breaking of bulk. In addition, a solid surface plays an important role as “low dimensional reaction field”, on which we can provide atoms and molecules and manipulate them deliberately. In order to fabricate atomically-controlled surface materials, we have to understand the dynamical behavior of atoms and molecules on surfaces. The research of these subjects is closely related to the basics of catalysis, semiconductor processes and molecular electronics. In addition, we can simulate chemical reactions on cosmic dust with laboratory experiments in ultra-high vacuum at low temperature. We have utilized surface vibrational spectroscopy, photoelectron spectroscopy and scanning tunneling microscopy in order to investigate structures, reactions and electronic properties of atoms and molecules on surfaces. Synchrotron radiation (KEK-PF, SPring8 etc.) is also used to study electronic structure of surface and interface.



	C ₆ H ₁₂		C ₆ D ₁₂
E _{ad}	70.2 kJ/mol	>	62.1 kJ/mol
Δφ	0.375 eV	>	0.338 eV
Γ _{ad}	Γ _{ad} (C ₆ H ₁₂)	<	Γ _{ad} (C ₆ D ₁₂) (ΔΓ _{ad} = 0.02-0.03 Å)
d _m	6.83 Å	>	6.73 Å

Rh(111) 表面に吸着したシクロヘキサン分子で観測された速度論的、構造的同位体効果

Kinetic and geometric isotope effects observed in the case of cyclohexane on Rh(111)

研究テーマ Research Subjects

1. モデル触媒による小分子の活性化と表面反応の研究
Activation and surface reaction of small molecules by model catalysts
2. 金属表面における原子・分子の動的過程の研究
Dynamical processes of atoms and molecules on metal surfaces
3. 酸化物表面の電子状態と化学反応の研究
Electronic states and chemical reaction at oxide surfaces
4. グラフェンやシリセンなど低次元物質表面の電子状態と反応性の研究
Electronic states and reactivity of low-dimensional materials on surfaces including graphene and silicene
5. 超薄膜やナノ構造物の構築と局所電気伝導
Electronic states and conductivity of thin films and nano-scale structures on surfaces

ナノスケール物性研究部門

Division of Nanoscale Science

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

長谷川研究室

Hasegawa Group



長谷川 幸雄
Yukio HASEGAWA
准教授
Associate Professor

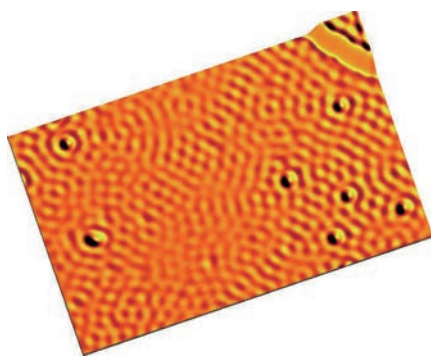


吉田 靖雄
Yasuo YOSHIDA
助教
Research Associate

走査トンネル顕微鏡 (STM) や原子間力顕微鏡 (AFM) など探針 (プローブ) を用いた顕微鏡を主たる手法として、表面での原子構造や組成・電子物性のナノスケール計測・物性評価を行うとともに、それらの制御を目指して研究を進めている。

STMでは、液体ヘリウム温度以下の熱擾乱を抑えた条件下での顕微鏡操作により、原子を一つずつ動かし任意形状に配列させることによる表面電子状態の制御技術や高精度での局所電子状態測定技術などを駆使し、電子定在波や遮蔽ポテンシャル・フリーデル振動、微小超伝導体のギャップ測定など、他の手法では観測不可能な現象の観測評価を行っている。またAFMでは、力検出感度を限界にまで高めることにより世界最高分解能での表面原子像観察を可能とし、原子間力計測や表面電位 (ポテンシャル) 分布の精密測定に応用している。

超低温・磁場中・放射光下といった特殊環境下でのプローブ顕微鏡の開発、プローブ顕微鏡を使ったナノリソグラフィ法の確立、新たなプローブ分析手法の探索にも積極的に取り組んでいる。



銅 (111) 表面のSTM像。表面電子状態が表面上のステップや欠陥構造に散乱されて、電子定在波 (周期: 1.4 nm) を形成している。

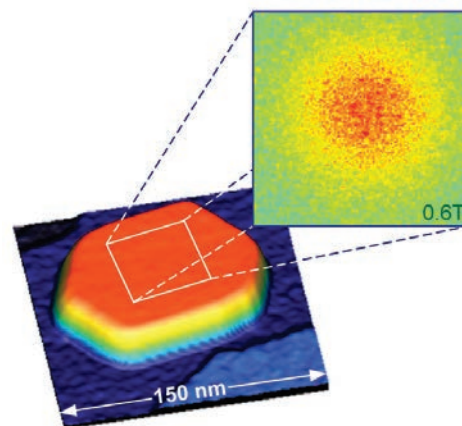
An STM image of Cu(111) surface. Electron standing waves, which are formed as a result of scattering and interference of surface electronic states by steps and surface defects, are observed. The wave length of the oscillatory structure is 1.4 nm.

Using scanning tunneling microscope (STM) and atomic force microscope (AFM), we investigate the properties of atoms and electrons on surfaces with an aim of finding new physics in nanometer scales.

Eliminating thermal fluctuations and disturbances, low-temperature STMs allow us to measure surface electronic states locally with very high energy and spatial resolutions and to control them precisely by arranging individual atoms on surfaces with the probe tip. Using the setups, we have observed electron standing waves, screened potential and the Friedel oscillation, and the superconducting gap of individual nano-size particles.

By improving a force sensitivity of the AFM probe to the ultimate level, we achieved the world-best high resolution AFM imaging, and now use it for measuring surface electrostatic potential accurately in a nanometer scale spatial resolution.

We are also engaged in developments of probe microscopes under various extreme conditions, such as, ultralow temperature, high magnetic field, or under an irradiation of synchrotron radiation light, and new functional and analytical methods with probes such as AFM lithography.



ナノサイズPbアイランド構造の低温STM像と、磁場下でのトンネル分光による超伝導ギャップ分布の測定から得られた量子磁束 (渦糸)

Low temperature STM image of nano-size Pb island structure, and an real-space image of quantized magnetic flux (vortex) obtained from tunneling spectra showing a superconducting gap under magnetic field

研究テーマ Research Subjects

1. 低温STMによる電子定在波・フリーデル振動など表面電子状態の研究
Low temperature STM on surface electronic properties by observation of electron standing waves and the Friedel oscillation
2. STMによるナノサイズ粒子の超伝導特性に関する研究
Dynamical processes of atoms and molecules on metal surfaces
3. AFMを用いた表面ポテンシャル測定・電気抵抗分布測定
Measurements of surface potential and electrical conductance by AFM
4. 放射光励起STMによるナノスケール元素分析・化学分析
Elemental / chemical analysis in nanometer scale using synchrotron-radiation assisted STM

リップマー研究室

Lippmaa Group



リップマー ミック
Mikk LIPPMAA
准教授
Associate Professor



高橋 竜太
Ryota TAKAHASHI
助教
Research Associate

本研究室では金属酸化物の極薄膜、ヘテロ構造を始めとするナノ構造の機能性の探索を行っている。酸化物の特性は組成、温度、外場によって劇的に変化することが知られており、特に酸化物ナノ構造の物性制御に注目した研究を進めている。

最近の研究トピックとして、マグネタイト (Fe_3O_4) の強誘電性に関する研究を進めてきた。120K 以下の低温領域では絶縁体となり強誘電性が発現すると言われていたが、リーク電流が高いため強誘電性を実験的に確認することは難しかった。我々は高品質なマグネタイト結晶を作製し、レーザーを用いた焦電性評価を行うことで、Verwey 転移点以下における自発分極の発現、低温における強誘電性を確認することに成功した (図1)。ラマン分光測定 (図2) から Verwey 転移点以下では構造相転移は起こらないことがわかり、マグネタイトの自発分極は電荷秩序構造によって発現することを実証した。

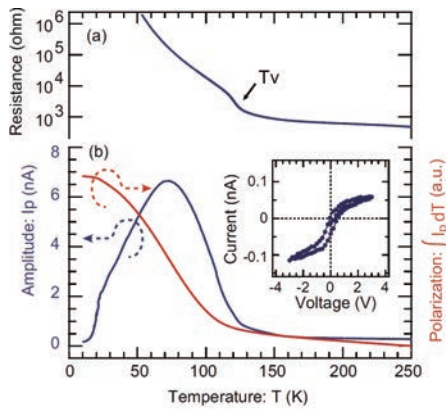


図1 マグネタイトの抵抗値 (a)、焦電流 (b: 青)、分極値 (b: 赤) の温度依存性。120K において Verwey 転移が起こる。この転移温度以下で焦電流が観察され、自発分極が発生することがわかった。挿入図は 9K で観察された焦電流のヒステリシスループを示し、強誘電性が確認された。

Fig. 1. (a) Temperature dependence of magnetite resistivity, showing the Verwey transition at 120 K. (b) Measured pyroelectric current in a thin film sample (blue), together with the integrated polarization curve (red). Inset shows switchable polarization at 9K.

The main topic of our research is the characterization of transition-metal oxides in confined geometries, such as very thin films, nanostructures, and heterostructures. Many oxide materials show very complicated phase diagrams as a function of doping, temperature or external fields. We study the mechanisms of those phase transitions in thin film structures.

We have recently looked into the appearance of a ferroelectric state in magnetite Fe_3O_4 thin films below the 120K Verwey charge ordering transitions. By measuring the pyroelectric current response of high-quality magnetite thin films under periodic laser heating, we have shown that the polar state of magnetite appears at the Verwey transition temperature, as shown in Fig. 1. Ferroelectric polarity switching is possible at low temperatures. A temperature scan of Raman spectra shows that the magnetite thin films have no further structural transitions below the charge ordering temperature, and the polar state is thus a result of the charge order, not a displacement of ions in the crystal.

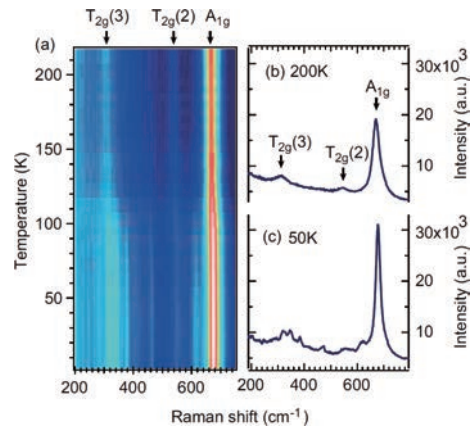


図2 マグネタイトのラマン分光測定温度依存性。Verwey 転移点の 120K で構造相転移が起こっていることがわかる。Verwey 転移点より低い温度では構造が変化していないことから、強誘電性の発現は電荷秩序構造に由来することがわかった。

Fig. 2. Temperature dependence of Raman spectra of magnetite, showing the structural change at the Verwey temperature but no further structural changes at lower temperatures, proving that the appearance of the ferroelectric state is not related to cation displacements.

研究テーマ Research Subjects

1. パルスレーザー堆積法による酸化物ヘテロ構造の作製
Growth of thin oxide films and heterostructures by pulsed laser deposition
2. 酸化物の相転移現象の外場制御
Phase transition mechanisms in oxides under external excitations
3. 化物の固液界面における光触媒特性
Photocatalytic activity at oxide - liquid interfaces
4. 酸化物デバイスの電子構造
Electronic behavior of oxides in various device structures

中村研究室

Nakamura Group



中村 潤児
Junji NAKAMURA
客員教授
Visiting Professor

銅触媒表面で進行する二酸化炭素からのメタノール合成反応のメカニズムの解明を目的として、触媒活性点や表面素過程について、放射光分光などの表面科学的手法を用いて研究している。

化石資源がエネルギー源として今後も用いられると予想されるが、その際に発生する温暖化ガスの二酸化炭素の化学的利用が求められている。その中で、メタノールは容易に合成できる有用化合物として期待されている。しかし、メタノール合成には活性化エネルギーに相当するエネルギーを投入せねばならない。高活性メタノール合成触媒を開発することによって、そのエネルギーの削減することができる。これまでの触媒開発は試行錯誤的な触媒探索に依っていたが、我々は、表面科学、第一原理計算、触媒製造の融合研究によって新触媒開発を目指している。表面科学的研究においては、二酸化炭素のメタノール合成に対する触媒活性点の特定や反応素過程の原子・電子レベルでの研究を行っている。最近、銅表面に存在するステップやキンクと呼ばれる表面欠陥が二酸化炭素の活性化に関わっていることがわかってきた。

In order to clarify the mechanism of methanol synthesis from CO₂ on Cu catalyst surfaces, catalytically active sites and surface elementary steps have been studied using surface science techniques such as synchrotron radiation spectroscopies.

Chemical conversion of CO₂ is generally expected to reduce CO₂ emission formed by combustion of fossil fuels which will be continuously used in the near future. A promising method is the synthesis of methanol, which is a useful raw material. However, one needs energy to carry out the methanol synthesis to overcome the activation energy of the reaction. The development of new catalysts means the reduction of the energy cost. We have started a project to develop methanol synthesis catalysts based on surface science, density functional theory (DFT) calculation, and catalyst preparation instead of traditional trial and error typed method of catalyst development. We study the active site of methanol synthesis catalysts and its elementary steps at the atomic and electronic levels using surface science techniques. We have recently found that the defects called kink or step play a role in the activation of CO₂ on Cu surfaces.