

# ナノスケール物性研究部門

Division of Nanoscale Science

ナノスケール物性研究部門では、様々な低次元ナノスケールデバイスや材料を対象として研究を行っている。電子ビームリソグラフィや集束イオンビーム加工を用いたり、薄膜成長中に自発的に形成させたり、原子レベルで秩序だった表面へナノスケールレベルの層を堆積させる手法などを利用してナノスケールの材料や電子デバイスを作製している。これらの材料は、走査型プローブ顕微鏡を用いた表面の空間分解物性研究や、低温輸送・磁気輸送技術により特性評価を行っている。最近では、ナノスケールの材料やデバイスの開発と量子計測法を組み合わせることで、新しい微細加工ができる施設を物性研究所内に設置した。この施設では、当研究所の微細加工・分析ツールを活用し、低温や高磁場などでの様々な量子計測に適したデバイスの作製を支援している。最近の研究テーマとしては、ヘテロ構造におけるスピン変換の探索、それをもとにしたスピントロニクスデバイスの開発や、単結晶表面に形成されたナノ構造における超伝導やトポロジ状態の走査プローブによる解明、自己組織化ナノ構造体の創成や量子コンピュータのための新規な構成体の開発などがある。

The Division of Nanoscale Science brings together laboratories working on a variety of low-dimensional nanoscale devices and materials. The nanoscale systems that we study are built either by fabricating nanoscale electronic devices, typically by electron beam lithography or focused ion beam milling, or formed spontaneously during thin film growth or by deposition of nanoscale layers on atomically well-ordered surfaces. We use scanning probe microscopes for spatially-resolved physical property studies on surfaces and a variety of low-temperature transport and magnetotransport techniques for materials characterization and property analysis. We have recently started a new microfabrication facility for combining nanoscale materials and device studies with quantum measurement methods available at ISSP. The facility helps researchers to utilize the microfabrication and analytical tools in our laboratories to prepare suitable device structures for a variety of quantum measurements at low temperatures, high magnetic fields, etc. The recent research topics include studies on the exploration of spin-to-charge current conversion phenomena at interfaces and heterostructures, development of spintronic devices, scanning-probe studies of superconductivity and topological states in nanostructures formed on single crystal surfaces, fabricating self-organized nanostructured materials, and the development of new building blocks for quantum computers.

---

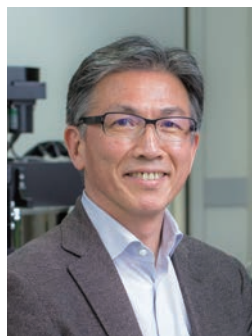
部門主任 リップマー ミック  
Leader LIPPMAA, Mikk

---

# 大谷研究室 Otani Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 磁気弾性強結合による高効率スピン流の生成  
Efficient pure spin current generation by magnon-phonon coupling
- 2 重元素を含まない界面での軌道流の生成  
Orbital current generation at the interface of light elements
- 3 非共線反強磁性体における電流駆動高速磁壁移動  
Current-driven fast magnetic domain wall motion in noncollinear antiferromagnets
- 4 原子間力顕微鏡を用いた局所的熱流注入による異常ネルンスト効果マッピング  
Anomalous Nernst effect mapping by local heat flow injection using an atomic force microscope



教授 大谷 義近  
Professor OTANI, Yoshichika

専攻 Course

新領域物質系

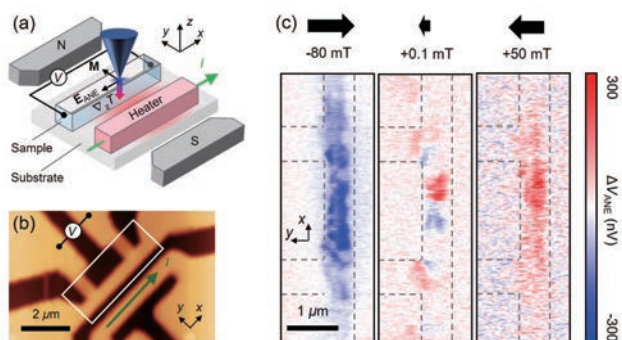
Adv. Mat., Frontier Sci.



助教 一色 弘成  
Research Associate  
ISSHIKI, Hironari

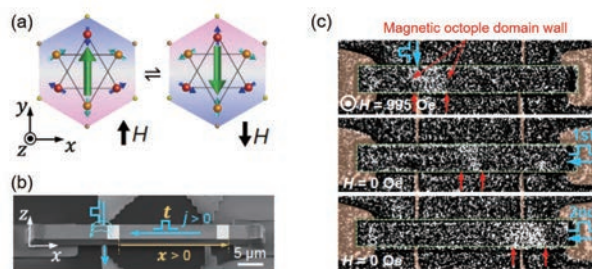
20世紀の終わりに誕生したスピントロニクスは、電流に加え、スピン角運動量の流れであるスピン流を用いることで、これまでにない機能を持った素子を創出する学問領域である。スピントロニクスは、電荷・スピン・フォノン・フォトン・マグノン等の準粒子が、固体中のスピンを媒介として相互に変換される「スピン変換科学」として発展した。ごく最近では、スピン変換科学は、準粒子が強固に結合しマグノンポーラロンなどの新奇準粒子状態を生成する、「強結合スピントロニクス」として展開している。さらに最近では、電子スピンだけではなく電子軌道により角運動量を運ぶ軌道流が登場した。これらのスピンや軌道を媒介とする変換・結合現象は、比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く、優れた汎用性と応用性を持っている。我々の研究室では、微細加工で作製したナノデバイスを使った実験により、スピンや軌道を媒介して生じる新奇な準粒子間の変換・結合現象の開拓を行っている。また、基礎量子物性の観点から、発見した新現象の機構解明にも取り組んでいる。

Spintronics, which emerged at the end of the 20th century, is a science that creates new functional devices by using spin currents, the flow of spin angular momenta, and charge currents. It has developed as spin conversion science in which quasiparticles such as electrons, phonons, photons, and magnons are interconverted through spins in solids. Recently, this has evolved into strong coupling spintronics, producing new coupled quasiparticles such as magnon polarons. More recently, orbital currents have emerged that carry angular momenta not only by electron spin but also by electron orbitals. Since these spin/orbital-mediated conversion/coupling phenomena often occur in the nanoscale region near the relatively simple junction interface, they have excellent versatility and applicability. Our laboratory develops novel conversion/coupling among quasiparticles mediated by spins/orbitals through experiments using nanoscale devices fabricated by microfabrication technology. Furthermore, we elucidate the mechanisms of novel phenomena from the viewpoint of fundamental solid-state physics.



原子間力顕微鏡の探針誘起局所温度勾配を用いた異常ネルンスト効果のマッピング。(a) 手法の概略図。(b) 素子のトポグラフィ像。(c) 外部磁場印加中の異常ネルンスト電圧のマッピング像。

Magnetic imaging by the locally induced anomalous Nernst effect using atomic force microscopy. (a) conceptual drawing of this method. (b) The topography of the sample. (c) The Spatially resolved anomalous Nernst effect voltage under external magnetic fields.



非共線反強磁性体  $Mn_3Ge$  の高速磁壁移動の実証。(a)  $Mn_3Ge$  の磁気八極子。(b) 試料の SEM 像。(c) 磁気カー効果により観察されたパルス電流による磁壁の高速移動。

Demonstration of a fast magnetic domain wall motion in a noncollinear antiferromagnet  $Mn_3Ge$ . (a) The magnetic octapoles of  $Mn_3Ge$ . (b) SEM image of the sample. (c) The fast domain wall motion induced by pulse currents observed by MOKE.



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

## 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 メソスコピック系の量子輸送  
Quantum transport in mesoscopic systems

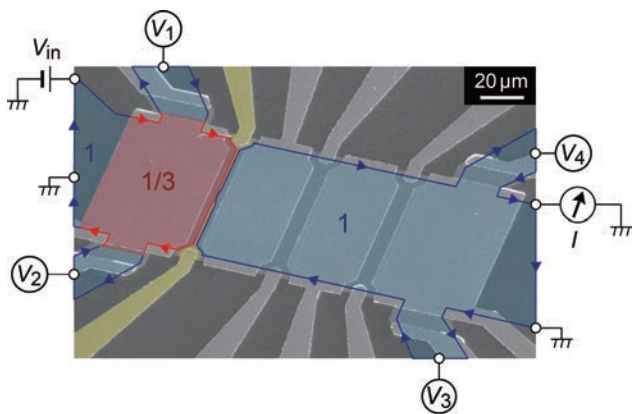


准教授 橋坂 昌幸  
Associate Professor HASHISAKA, Masayuki

専攻 Course  
理学系物理学  
Phys., Sci.

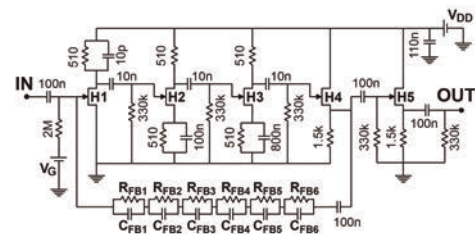
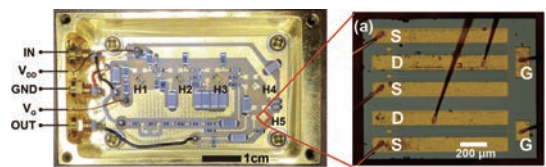
電子の量子的性質と電子間相互作用を起源として、著しく非自明な物性が発現することがある。超伝導、分数量子ホール効果、近藤効果などがその代表例である。これら「量子多体系」の特異性は、その素励起の性質としてひときわ鮮やかに観測される場合がある。例えば分数量子ホール系における素励起（準粒子）は、素粒子であるはずの電子1個の電荷（素電荷）よりも小さな分数電荷を持つことが確かめられている。またこの準粒子は、ボーズ統計・フェルミ統計と異なる量子統計（エニオン統計）を持つことが知られており、トポロジカル量子計算への応用が期待されている。本研究室では、量子多体系の素励起を観測・制御することにより、電子や光子など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



# 長谷川研究室 Hasegawa Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 低温 STM による特異な超伝導 / トポロジカル物性の探索  
Exploration of peculiar superconducting / topological states using low-temperature STM
- 2 マイクロ波導入スピン偏極 STM によるナノスケール磁気共鳴とスピンドYNAMIX  
Nanoscale detection of magnetic resonances and spin dynamics by microwave-assisted spin-polarized STM
- 3 スピン偏極走査ポテンシオ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 tunneling potentiometry
- 4 データ科学支援による高効率局所電子状態計測  
Effective collection of local density of states with an assist of data science



教授 長谷川 幸雄  
Professor HASEGAWA, Yukio

専攻 Course

工学系物理学  
App. Phys., Eng.



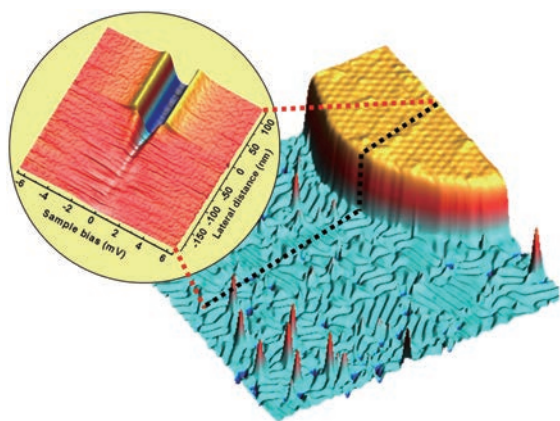
助教 土師 将裕  
Research Associate  
HAZE, Masahiro

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、スピン偏極局所ポテンシオメトリによるスピン流計測、さらにはマイクロ波導入による磁気共鳴検出を通じた局所スピンドYNAMIXの研究等も推進しており、プローブ顕微鏡の新たな計測手法を開発することにも取り組んでいる。

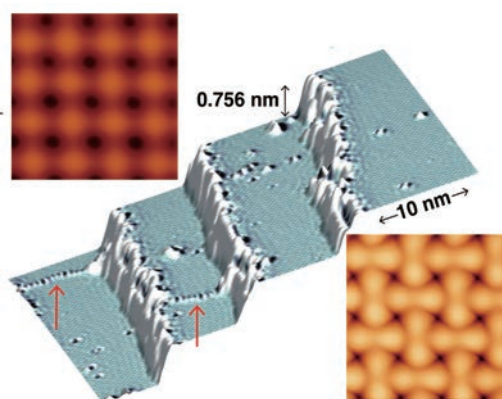
Scanning tunneling microscopy (STM) reveals not only atomic structure of surfaces but also electronic states of sub-nanometer areas by tunneling spectroscopy. With a function of spin-polarized (SP-) STM, the microscope also provides local magnetic properties and surface spin structures, and with inelastic 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 are found e.g. at surfaces, where inversion symmetry is broken, and in the proximity with ferromagnetic and topological materials, have been explored. We have also studied local magnetic properties of nano magnets, peculiar spin-spiral structures, and energy dispersion of surface magnons using SP-STM and SP-IETS. We have also explored unique functionality of the probe microscopy; recent examples include the investigation of local spin dynamics through the detection of magnetic resonances using microwave-assisted SP-STM, spin current detection using SP-scanning tunneling potentiometry, and efficient collection of local density of states based on data-driven science.



超伝導金属界面での近接効果。単原子層 Pb (水色、金属相) と Pb 薄膜 (黄色、超伝導相) の界面でのトンネル分光から、超伝導特性が界面から約 40nm にわたって染み出している様子が観察される。

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.



重い電子系物質 CeCoIn<sub>5</sub> で観測された表面軌道秩序。Co 原子が正方配列した面 (中央、左上図) で、探針を近づけて STM 像 (右下図) を撮ると、ダンベル状の d 軌道の秩序配列状態が観察される。

Surface-induced orbital ordered states observed on a heavy-fermion material CeCoIn<sub>5</sub>. In STM images taken on a Co-terminated surface in standard conditions, round-shaped Co atoms are observed (center and upper-left images). In STM images taken in closer distances (lower-right) we observed an ordered phase of dumbbell-shaped d-orbitals.



## 研究テーマ Research Subjects

- 1 よく規定されたモデル触媒による分子の活性化と表面反応の研究  
Activation and surface reaction of molecules on well-defined model catalysts
- 2 水素と関わる材料の物性と反応  
Properties and reactions of materials with hydrogen
- 3 2次元物質の電子状態と反応性の研究  
Electronic states and reactivity of two-dimensional materials
- 4 THz パルスによる表面における原子・分子ダイナミクスの研究  
Dynamical processes of atoms and molecules on surfaces using THz pulse



教授 吉信 淳  
Professor YOSHINOBU, Jun



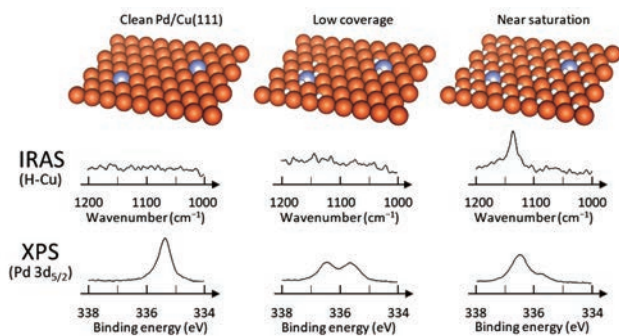
助教 田中 駿介  
Research Associate  
TANAKA, Shunsuke

専攻 Courses

理学系化学 新領域物質系  
Chem., Sci. Adv. Mat., Frontier Sci.

外部から原子・分子を自在に供給し、新しい物質を構築する「反応場」であることが、固体表面の最も重要な特徴である。表面・界面は物質移動の場だけではなく、エネルギー変換の場としても重要である。原子スケールで物質移動を制御し、機能をもつ材料やデバイスを創製するためには、表面・界面における素過程を理解することが不可欠である。表面における原子・分子のダイナミクス研究は、触媒やデバイスだけでなく、さらに地球環境や宇宙における化学反応についても手がかりを与えてくれる。当研究室では、表面・界面における原子・分子のダイナミクス、モデル触媒および低次元材料の構造・物性・反応を、振動分光、光電子分光、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。また、シンクロトロン放射光を用いたオペランド光電子分光を推進している。最近、THzパルスによる表面プロセス駆動のプロジェクトにも取り組んでいる。

Solid surfaces play an important role as “low dimensional reaction field”, on which we can provide atoms and molecules and manipulate them deliberately. In addition, surface and interface are vital in the energy conversion processes. In order to fabricate atomically-controlled functional 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 and clouds in atmosphere with laboratory experiments in ultrahigh vacuum at low temperature. We have utilized surface vibrational spectroscopy, photoelectron spectroscopy and local probe methods in order to investigate structures, reactions and electronic properties of atoms/molecules and thin films on surfaces. Synchrotron radiation (KEK-PF, SPring-8 etc.) is also used to study the electronic states of surface and interface, including *operando* X-ray photoelectron spectroscopy. Recently, we have engaged in the study of THz-pulse driven surface processes.



単原子合金モデル触媒 Pd/Cu(111) における水素の解離とスピルオーバープロセス  
Dissociation and spillover processes of hydrogen on the single atom alloy Pd/Cu(111) model catalyst surface



THz パルス駆動表面反応装置 (松永研究室との共同研究)

The apparatus for THz-pulse induced surface reactions (collaborated with Matsunaga Lab.)



## リップマー研究室 Lippmaa Group

## 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およびヘテロ構造の作製  
Growth of thin oxide films and heterostructures by pulsed laser deposition
- 2 酸化物ナノ構造およびナノコンポジット薄膜の合成  
Synthesis of nanostructures and nanocomposite thin films
- 3 有機-無機コンポジット薄膜の合成  
Fabrication of organic-inorganic composite thin films
- 4 気水界面における分子配向のその場観察  
In situ tracking of molecular motions and orientations at the air-water interface



教授 リップマー ミック  
Professor LIPPMAA, Mikko

専攻 Course

新領域物質系

Adv. Mat., Frontier Sci.



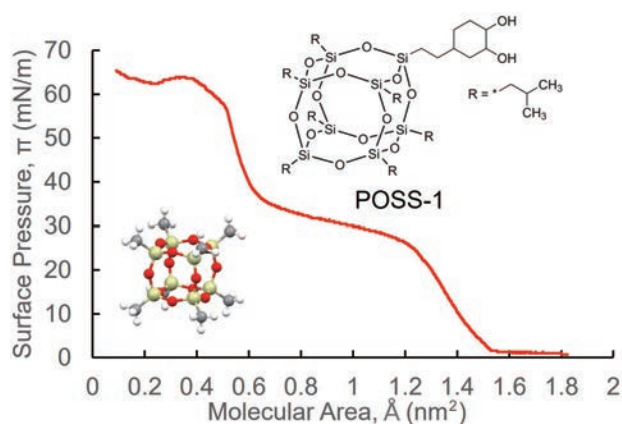
助教 森 泰蔵  
Research Associate  
MORI, Taizo

我々の研究室では酸化物薄膜のヘテロ構造やナノコンポジット薄膜合成を主に行っている。最近では、Langmuir-Blodgett (LB) 法により気水界面を用いてシルセスキオキサン薄膜を形成している。シルセスキオキサンは強固なカゴ構造を持ちつつ種々の官能基を修飾でき、エレクトロニクス、フォトニクスなどの応用が期待される有機-無機コンポジット材料である。

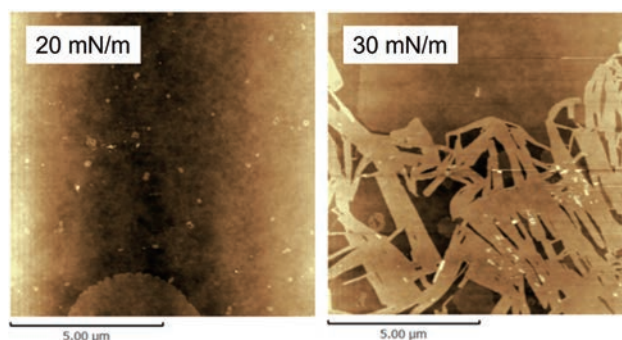
親水性であるシクロヘキサンジオールを有する POSS を気水界面に展開し所定の表面圧で基板に転写して LB 膜を形成している。表面圧-分子専有面積曲線と原子間力顕微鏡 (AFM) 観察より POSS-1 が均一な単分子膜を形成することを確認している。より表面圧が高い状態では、高さが数ナノメートルで幅が数マイクロメートルに及ぶ帯状の形態が観察されている。シクロヘキサンジオールは官能基としても働くため新規なセンサー材料への応用が期待される。

Our laboratory mostly works on oxide thin films and heterostructures grown by pulsed laser deposition. Recently, we have looked at other interfaces, preparing Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes (POSS) molecular layers. POSSs have a cage structure and can be modified with various functional groups. Molecular layers can be prepared at the air-water interface by using the Langmuir-Blodgett method. POSS is an organic-inorganic composite material with potential applications in electronics and photonics.

When a POSS with hydrophilic cyclohexanediol is spread at the air-water interface, the thin film can be transferred onto a substrate at a specific surface pressure. As shown in the surface pressure-molecular area isotherm and atomic force microscope images, the POSS formed a uniform monolayer. The band structures with the height of several nm and the width of tens nm form at higher transfer pressure. Such thin films can be used in novel sensor systems, where cyclohexanediol works as a functional group.



シルセスキオキサンのモデル構造(左)と POSS の表面圧-分子専有面積曲線(右)  
Model structure of Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes and surface pressure-molecular area isotherm of a POSS used in this work.



表面圧 20 と 30 mN/m で転写された POSS-1 の AFM 画像  
AFM images of POSS films transferred at surface pressure of 20 and 30 mN/m.





客員准教授 塚原 規志  
Visiting Associate Professor TSUKAHARA, Noriyuki

固体表面における有機分子膜の構造や電子状態、および、その応用に着目して研究を行っている。臭素(Br)やヨウ素(I)などのハロゲンを末端に有する有機分子は、ハロゲンにおける特異な電荷分布に由来するハロゲン結合や水素結合によって特徴的な分子膜を形成する。さらにこれらの分子は、CuやAgなどの表面では、脱ハロゲン反応とそれらの金属原子を介したカップリング反応により、有機金属超構造薄膜が形成される。多様な有機薄膜が基板金属の構造や温度といった条件に応じてどのように形成されるかは興味深い。

脱ハロゲン反応や配位結合で形成された2次元的な有機金属薄膜のうち、多孔性を有する薄膜は、ホスト空孔として、ゲスト吸着原子・分子をその孔に捕獲する。その枠構造により、吸着分子の吸着構造が変調され、また、閉じ込められた吸着原子がクラスターを形成する。この多孔性有機金属薄膜による吸着原子・分子の閉じ込めは、原子・分子の拡散や凝集といった動的過程を抑制し、それを積極的に利用すれば拡散・凝集を制御できる可能性がある。その応用に関しても今後探索を進めていく。

We focus on the structure, electronic states, and applications of molecular films on solid surfaces. In particular, organohalide molecules including Br and I atoms form characteristic molecular films due to halogen-bonds and hydrogen-bonds derived from the unique charge distribution at the halogen atoms. Furthermore, these molecules form organometallic superstructure films on Cu and Ag surfaces where dehalogenation reactions and subsequent coupling reactions occur via coordination bonds with the metal atoms. It is interesting how molecular films with various structures are formed depending on the conditions such as the substrate metal, its structure and temperature.

In addition, organometallic films with nanometer-sized pores may capture incoming guest adatoms and molecules in their pores. As a result, the adsorption structure of adsorbed molecules are modified compared to the adsorption state without the film; the adsorbed atoms can be confined and grow as nanoclusters in the pore. The confinement of adsorbed atoms/molecules by the porous organometallic film affects and/or controls the dynamic processes such as diffusion and aggregation of atoms/molecules; we will explore the application of the films.

