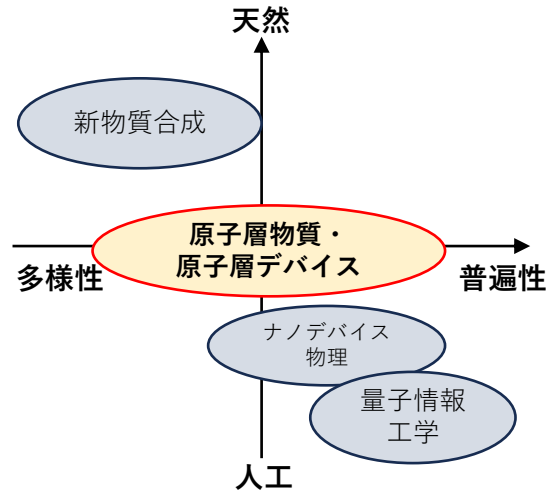
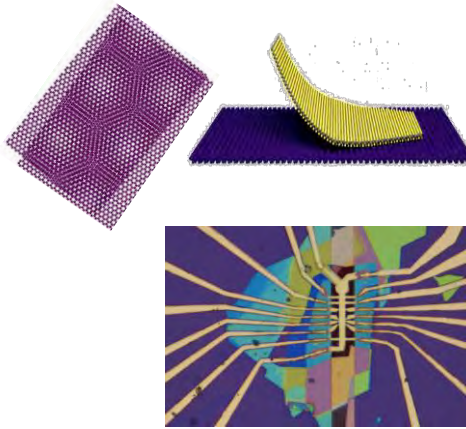


# 井手上研究室

## 原子層物質

原子間力で層間が弱く結合した層状物質の総称。  
原子一つ分の薄さまで剥離できる。

- 任意の異種物質積層が可能、  
微細加工と相性が良い  
→ **アイデア次第で自在に  
多彩な系を作れる**
- 外場やデバイス化で状態を  
制御しやすい  
→ **量子力学的現象の  
理想的なモデル系**
- 比較的新しい研究分野  
→ **多くの未開拓な問題**



原子層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ます。これらはアイデア次第で膨大な組み合わせの積層構造を作れるという多様性と、デバイス化や外場で量子自由度を自在に制御し基礎物理を探究できるという普遍性の両方を持っています。

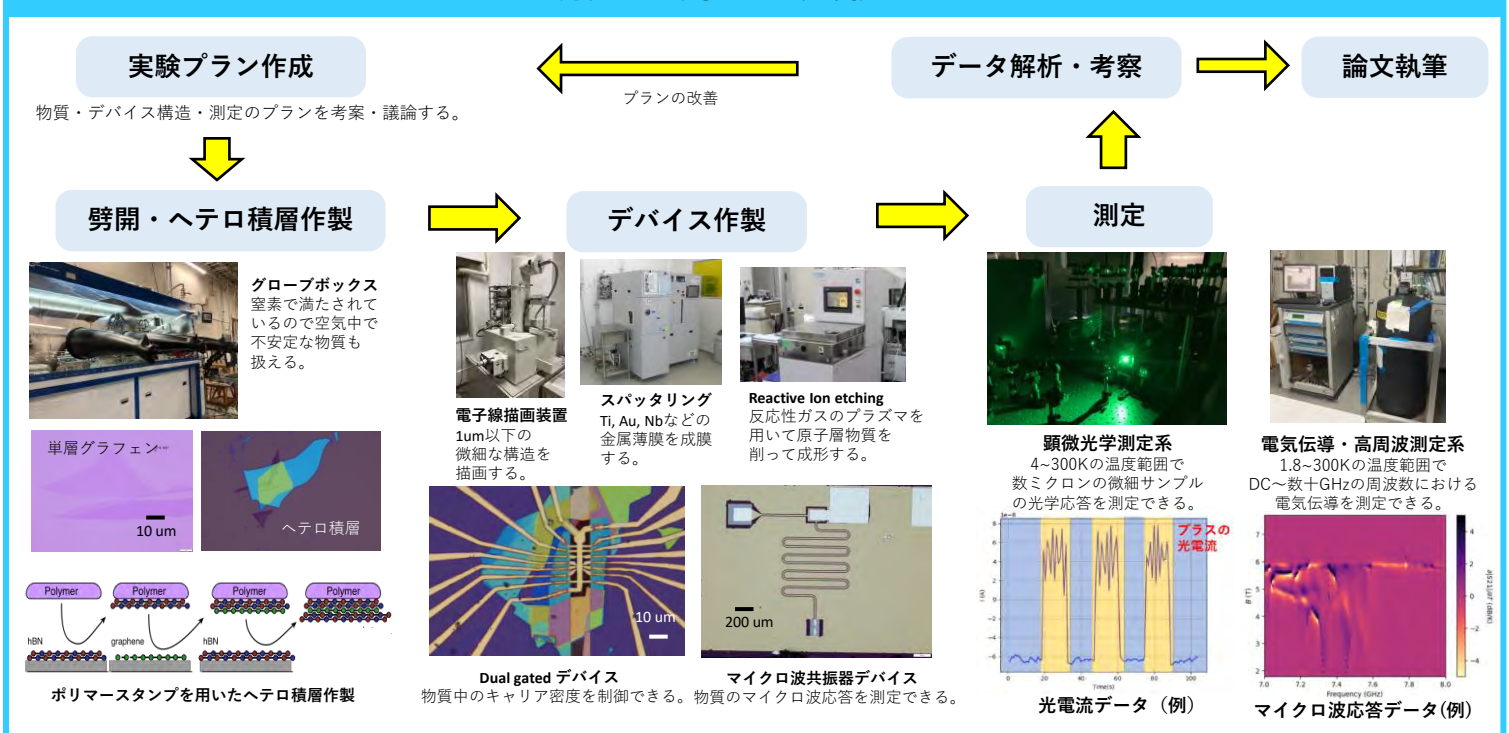
私たちはそのような原子層物質を電気伝導、高周波特性、光学特性という3つのプローブで理解することにより物性物理のフロンティアを開拓しています。

以下に最近の研究内容の例を挙げますが、これら以外にも世界でまだ誰も見たことのない新現象がたくさんあるはず。我々と一緒にそのような新しい物理を探索してくれる方、物質科学の新しい潮流を開拓したい方の参加をお待ちしています！

活発で挑戦的な雰囲気の研究室です。



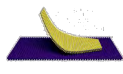
## 研究の流れと実験手法



# 原子層物質の面白さ

## ①任意の積層構造を作製可能

結晶合成・成長では基本的に熱力学的に安定な構造しか作ることができない。原子層物質は機械的に層を重ねることができるので任意の組み合わせ・積層角度のヘテロ構造を作ることができる。



異種物質同士の積層

(例) 六角格子と四角格子を重ねて全く違う対称性の系を作る、面内磁性体と面直磁性体を重ねて非自明な磁気構造を作る、など



有限角度での積層

(例) モアレフラットバンドを作って強相関電子系や超伝導を実現する、モアレ磁気構造を作製する、など

アイデア次第で全く新しい系を生み出すことができる

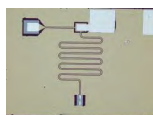
## ②制御性が良い

- 2次元系は外場に対して敏感なのでキャリア密度、電場などを自在に制御できる。



デュアルゲートデバイス

- 2次元系はナノデバイスとの相性が良いので量子測定技術を使って制御・測定できる。



マイクロ波共振器との結合

基礎物理を探求する理想的な舞台

## ③新しく活発な研究分野

2004年：グラフェンの発見  
Andre Geim, Kostya Novoselov  
(2010年ノーベル賞)

2012年：vdW半導体の特異な光学応答と励起子の発見

2018年：ツイストグラフェンの非従来型超伝導の発見

最近：分数チャーン絶縁体、Wigner結晶、...

まだまだ面白いことがたくさんあるはず！

## どんな人に向いている？

- 自分のアイデアと自分の手で新しい物質系やデバイスを作ってみたい  
→ 原子層物質が最適
- 基礎物理の普遍性も好きだが、物質科学の多彩さも面白そう...  
→ 原子層物質は両方にまたがっている
- 活気とスピード感のある研究分野に身を置きたい  
→ 原子層物質は今一番ホットな研究分野のひとつ

# 主な研究内容

## 量子測定・制御

薄くて微細な原子層物質の量子状態・物性を測定することは一般に困難

→ デバイス構造、測定系を工夫して測定手法を開拓

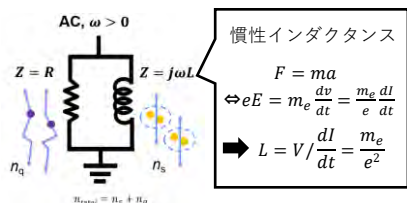
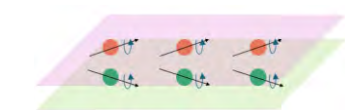
→ 新しい物理現象の発見へ

### □ 磁性体のスピン共鳴

数原子層のスピンダイナミクス

### □ 超伝導体の慣性インダクタンス

数原子層超伝導体のクーパー対の運動



## 量子整流現象

従来の整流現象は半導体p-n接合のような人工的な非対称性に基づく。

→ もっとマイクロな非対称性に基づく整流現象はないか？

→ 結晶や電子状態の非対称性由来する新しい整流現象の開拓

### □ 非相反磁気輸送

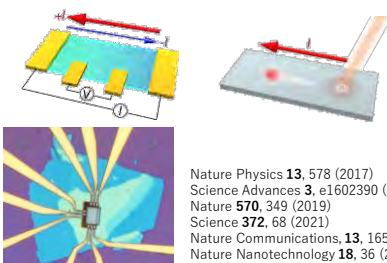
磁場によって現れる整流現象

### □ 超伝導ダイオード効果

ゼロ抵抗の整流現象

### □ バルク光起電力効果

光で見る結晶対称性による整流現象



## 量子相転移

量子物質は多彩な多体状態を取りうるが、3Dバルク物質では制御が難しい。

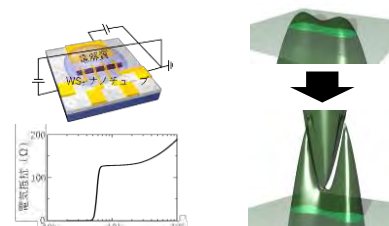
→ 原子レベルに薄い原子層物質は外場に敏感なので容易に制御できる。

### □ 電界誘起超伝導・磁性制御

強い電場をかけて制御する

### □ 圧力誘起トポロジカル相転移

圧力をかけて制御する



Nature Communications **8**, 14465 (2017)  
Proc. Natl. Acad. Sci. **116**, 25530 (2019)  
Science Advances **6**, eaay9120 (2020)  
Nature Electronics **6**, 28 (2023)