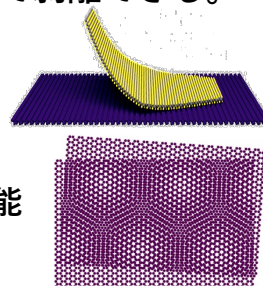


井手上研究室



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。
原子一個（あるいは数個分）の薄さまで剥離できる。

- 多彩な物性
 - 低次元性に起因する強い量子効果や
様々な量子相（磁性、超伝導、強誘電等）
- 制御性
 - 任意の原子層物質を積層して自在に界面を作製可能
デバイス化によるキャリア数制御等



准教授 井手上敏也

原子層物質は多彩さと制御性を兼ね備えた物質群で、新奇物性を探索する楽しさと物理現象を高度に制御できる美しさの両方を味わえる研究分野です。この新しい研究分野で我々と一緒に物理のフロンティアを開拓しましょう！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

劈開・ヘテロ積層作製

グローブボックス
窒素で満たされて
いるので空気中で
不安定な物質も
扱える。

単層グラフェン
ヘテロ積層

ポリマースタンプを用いたヘテロ積層作製

デバイス作製

電子線描画装置
1μm以下の
微細な構造を
描画する。

スパッタリング
Ti, Au, Nbなど
の金属薄膜を成
膜する。

Reactive Ion etching
反応性ガスのプラズマを
用いて原子層物質を
削って成形する。

Dual gated デバイス
物質中のキャリア密度を制御できる。

マイクロ波共振器デバイス
物質のマイクロ波応答を測定できる。

測定

顕微光学測定系
4~300Kの温度範囲で
数ミクロンの微細サンプル
の光学応答を測定できる。

電気伝導・高周波測定系
1.8~300Kの温度範囲で
DC~数十GHzの周波数における
電気伝導を測定できる。

光電流データ (例)

マイクロ波応答データ (例)

量子測定

薄くて微小な原子層物質の量子状態の測定は困難
→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測定
数原子層超伝導体のクーパ対の運動

慣性インダクタンス

$$F = ma$$

$$\Leftrightarrow eE = m_e \frac{dv}{dt} = \frac{m_e}{e} \frac{dI}{dt}$$

$$\Rightarrow L = V / \frac{dI}{dt} = \frac{m_e}{e^2}$$

AC, $\omega > 0$

$Z = R$ $Z = j\omega L$

n_q n_s

$n_{total} = n_q + n_s$

新現象開拓

例) 量子整流効果
従来の半導体p-n接合で生じるものとは異なる
新しい原理の整流現象
→量子状態の理解と新機能開拓

- 非相反磁気輸送
磁場でスイッチング可能な整流現象
- 超伝導ダイオード効果
ゼロ抵抗状態で実現する整流現象
- 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

Nature Physics **13**, 578 (2017)
Science Advances **3**, e1602390 (2017)
Nature **570**, 349 (2019)
Science **372**, 68 (2021)
Nature Communications, **13**, 1659 (2022)
Nature Nanotechnology **18**, 36 (2023)

相制御

量子物質は多彩な多体状態を取りうるが、
3次元バルク試料では制御が難しい。
→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

電界誘起超伝導

電界誘起 (O)

温度 (K)

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

