



# ナノマテリアル ～身近に隠れた先端物性物理～

物性実験

准教授 張 奕勁

# 自己紹介

ちょう えきけい  
張 奕勁

(中国名) 张 奕勁  
(英語名) ZHANG, Yijin

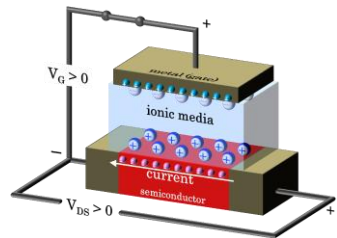


- 中国生まれ → 日本育ち(3歳~)
- 小学校・中学校・高校: 仙台 → 大学: 東京

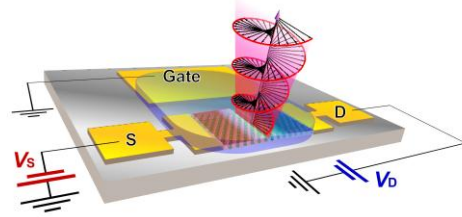
## 研究歴

2011	2016	2019	2025		
学部	修士課程	博士後期課程	ポスドク	助教	准教授
東大 応用物理学科/物理工学専攻 (岩佐研)			阪大(大岩研) MPI-FKF (Smet研)	東大 生産技術研究所 (町田研)	東大 理学系研究科 物理学科

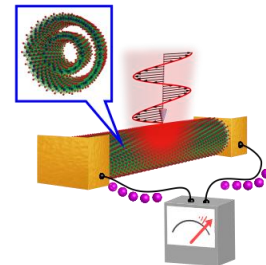
トランジスタ



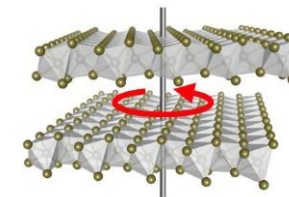
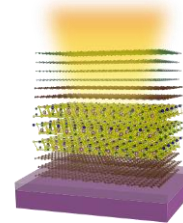
発光デバイス



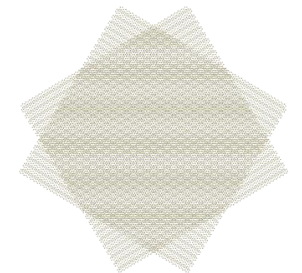
発電デバイス



Van der Waals積層



1D超格子/顕微分光



「測定」を通して物性物理学の研究を行う。

・

固体物理学(solid state physics)

凝縮系物理学(condensed matter physics)

- 電気を流す物質/流さない物質の違いは？
- 磁石につく物質/つかない物質の違いは？
- 物質の色は何で決まる？
- なぜハードディスクは情報を記録できるの？

# 物理学科 物性実験の教員陣



中辻 教授、酒井 講師  
量子位相制御  
強相関多体系

小林 教授  
量子制御と精密測定



林 教授  
スピン物性

物性実験

島野 教授  
レーザー光量子物性



岡本 准教授  
半導体二次元電子系

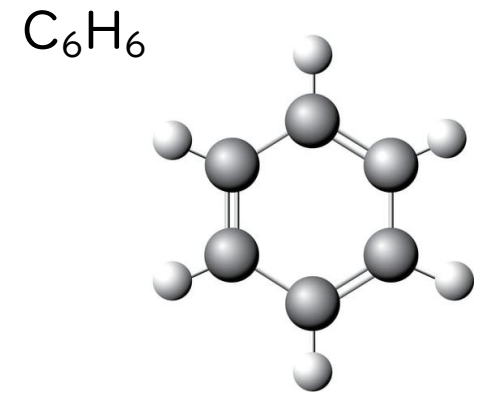
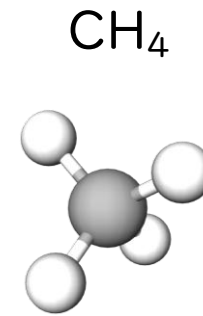
張 准教授  
ナノマテリアル



# 物質の性質は何で決まる？

1. どのような原子からできているか？組成非は？

- Cu:磁石につかない、Fe:磁石につく
- CとH → メタン( $\text{CH}_4$ )、ベンゼン( $\text{C}_6\text{H}_6$ )



2. どのような構造になっているか？

- C → ダイヤモンド、グラファイト

3. 電荷密度はどれくらい？

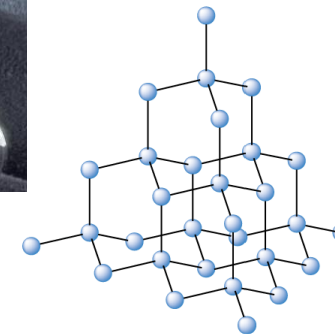
- 銅酸化物:超伝導体 $\Leftrightarrow$ 反強磁性体

4. 周辺環境

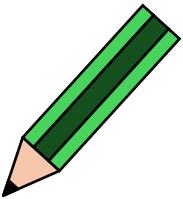
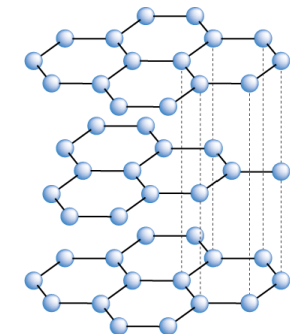
- 超伝導体(低温)  $\Leftrightarrow$  金属(室温)
- 磁性体(室温)  $\Leftrightarrow$  非磁性体(高温)



ダイヤモンド



グラファイト



# 次元が変わると性質も変わる

鉄球

3次元



はりがね

1次元

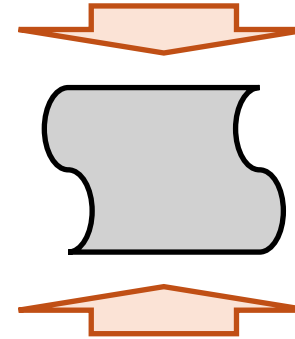


出典:amazon

どちらも電気を流す

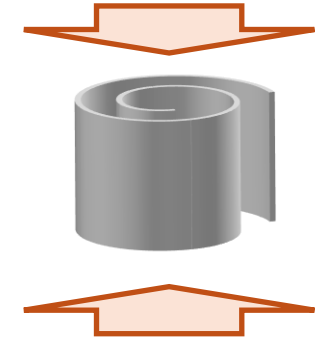
紙(平面)

2次元



紙(筒)

1次元

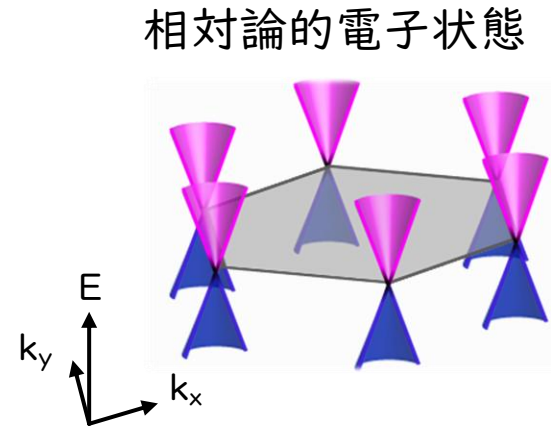
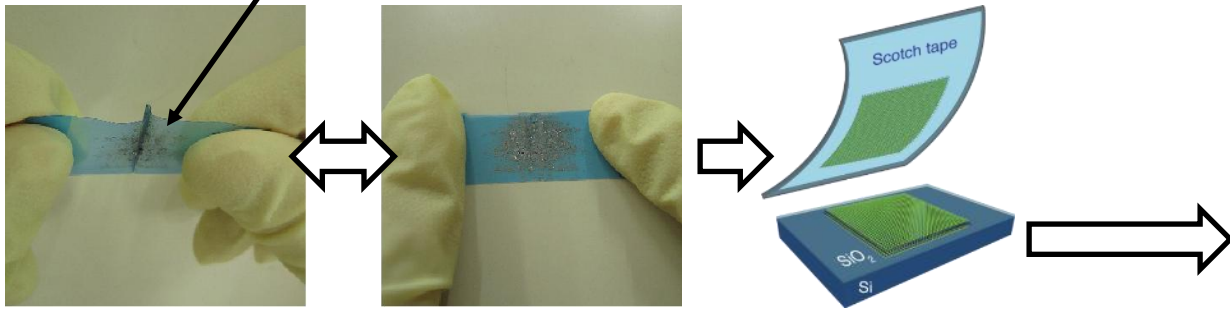
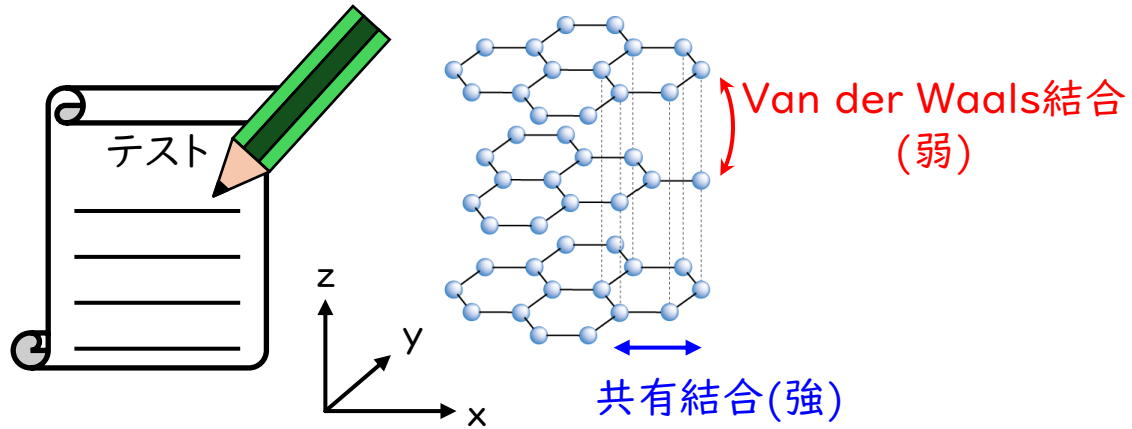


どちらも電気を流さない

肉眼で見える範囲だと、機械的特性は変わるが物性は変わらない。

ナノメートル( $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ )まで小さくなると、物性の変化も出現する。

# 「層状」グラファイトから「二次元」グラフェンへ

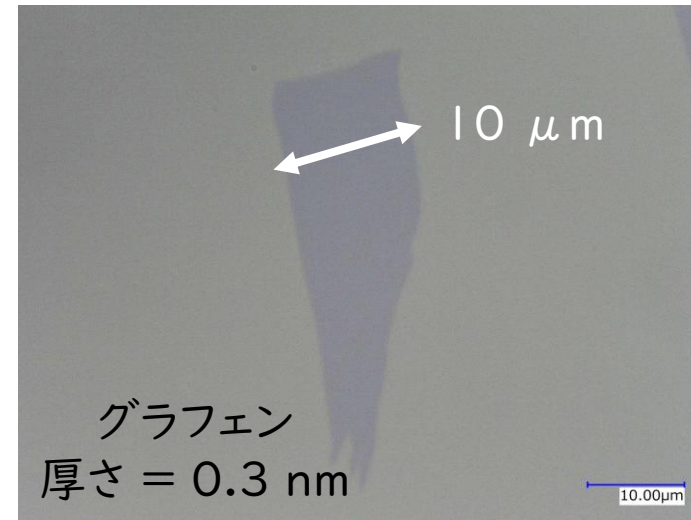


Nobel Prize in Physics 2010

Andre Geim  
Prize share: 1/2

Konstantin Novoselov  
Prize share: 1/2

The Nobel Prize in Physics 2010 was awarded jointly to Andre Geim and Konstantin Novoselov "for groundbreaking experiments regarding the two-dimensional material graphene"

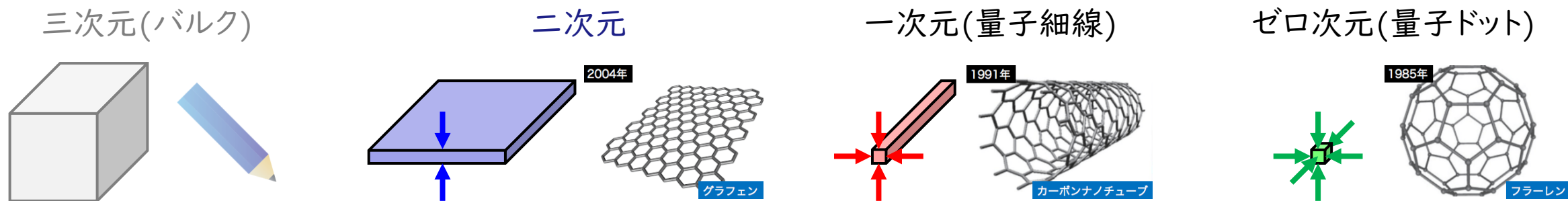


初報告

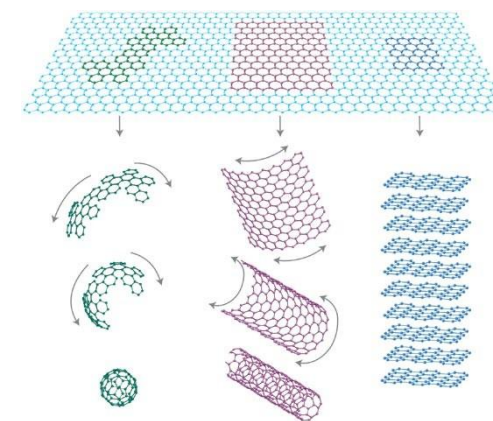
Novoselov *et al.*,  
*Science* **306**, 666-669 (2004)

# 私たち(張研究室)の狙い

## ナノマテリアル(二次元物質など)の基礎物性研究と新奇機能性の開拓



- ナノマテリアル特有の**構造制御の自由度**を活かし、**特に対称性の観点から物性開拓**を行う。
- **二次元物質**を中心に他の次元に展開。



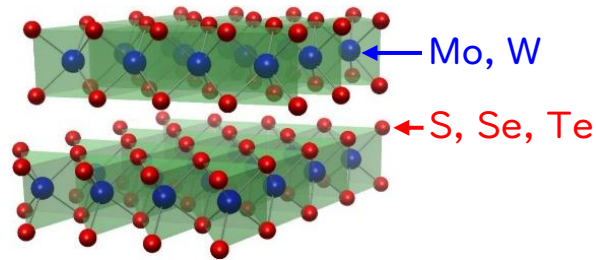
Geim & Novoselov, *Nature Mater.* **6**, 183-191 (2007)

# 潤滑剤から〇〇へ

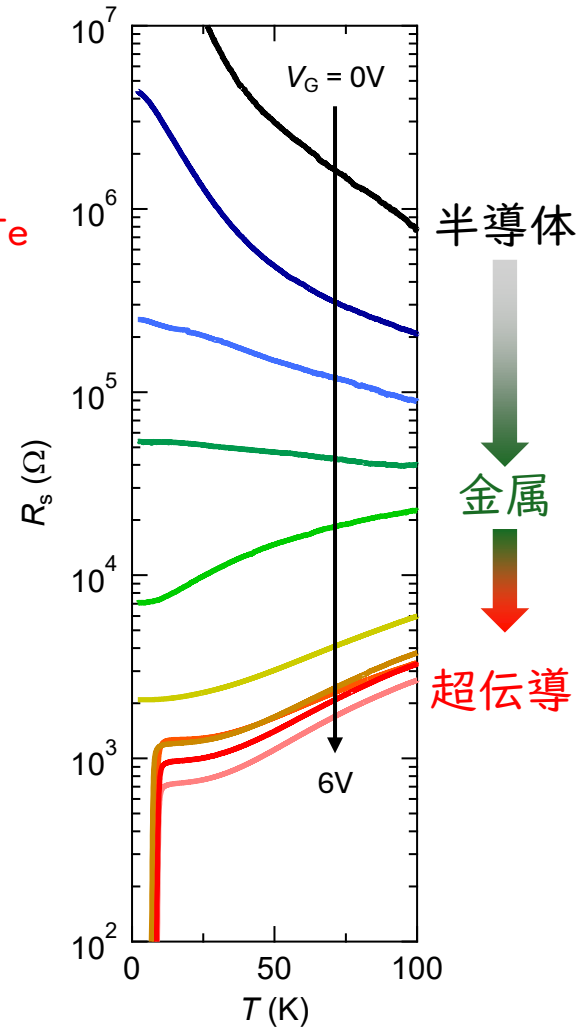
## 遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)

MoS<sub>2</sub>, エンジンオイル

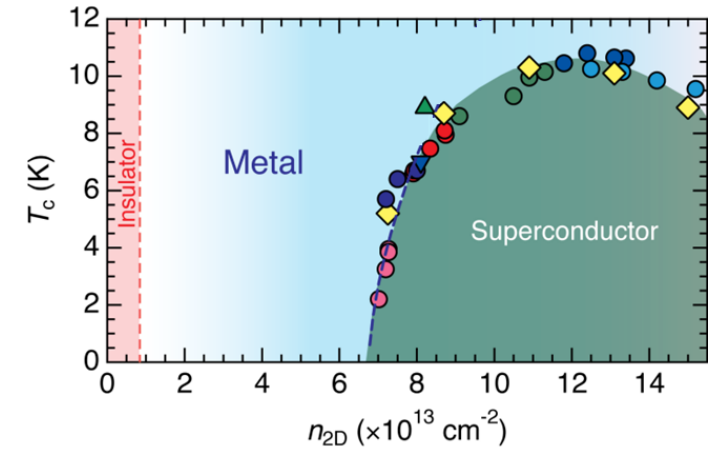
検索



1, 電荷密度を変えて**超伝導**



単一試料で電子相図も作れる



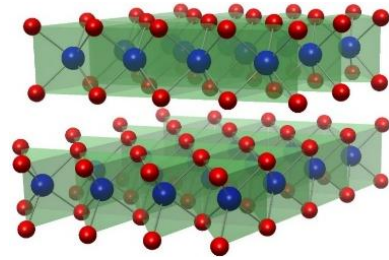
Ye, YJZ et al. *Science* **338**, 1193-1196 (2012) / Shi, Ye, YJZ et al., *Sci. Rep.* **8**, 12534 (2015)

# 潤滑剤から〇〇へ

## 遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)

MoS<sub>2</sub>, エンジンオイル

検索

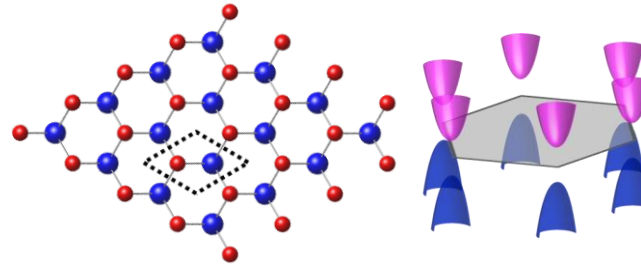


- 1, 電荷密度を変えて**超伝導**
- 2, 単層を取り出して
  - ・**スピントロニクス材料**

バレー(フェルミポケット)とスピンの結合によるスピン散乱の抑制

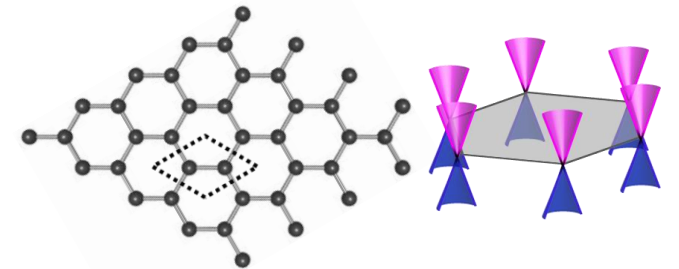
YJZ et al. Phys. Rev. B 95, 205302 (2017)

### 単層TMD

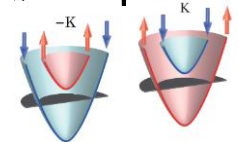
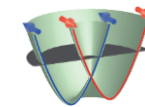
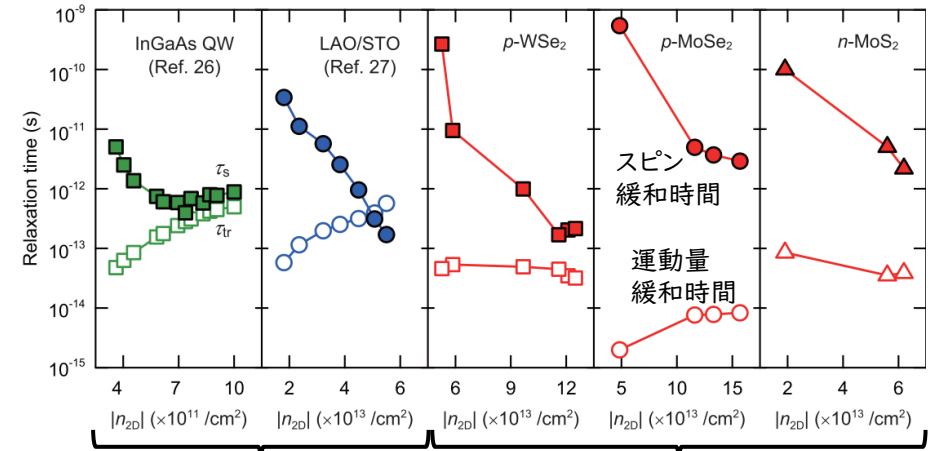


$$\hat{H} = \begin{bmatrix} \Delta/2 & \gamma(\tau q_x + i q_y) \\ \gamma(\tau q_x - i q_y) & -\Delta/2 \end{bmatrix}$$

### グラフェン



$$\hat{H} = \begin{bmatrix} 0 & \gamma(\tau q_x + i q_y) \\ \gamma(\tau q_x - i q_y) & 0 \end{bmatrix}$$

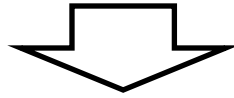
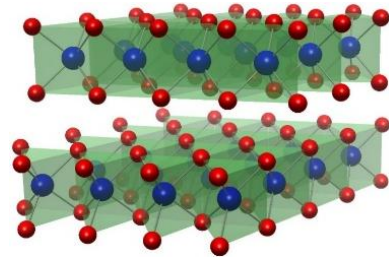


# 潤滑剤から〇〇へ

## 遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)

MoS<sub>2</sub>, エンジンオイル

検索

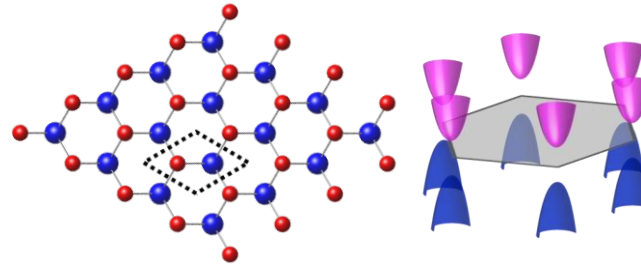


1, 電荷密度を変えて**超伝導**

2, 単層を取り出して

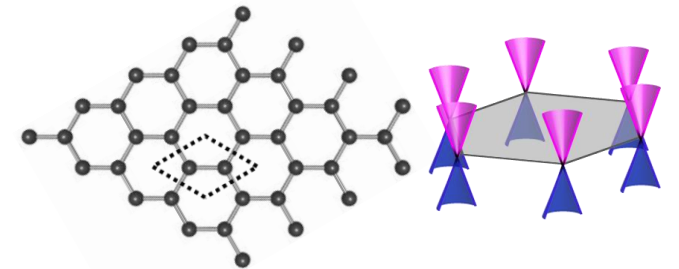
- ・スピントロニクス材料
- ・エキシトニクス材料

### 単層TMD



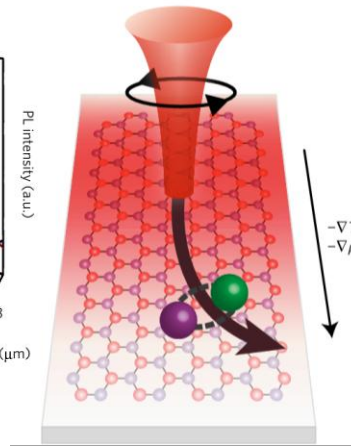
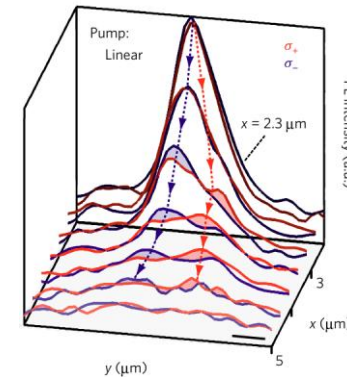
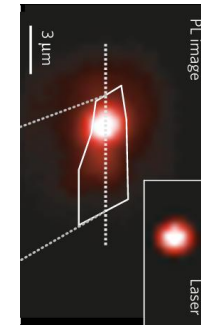
$$\hat{H} = \begin{bmatrix} \Delta/2 & \gamma(\tau q_x + i q_y) \\ \gamma(\tau q_x - i q_y) & -\Delta/2 \end{bmatrix}$$

### グラフェン



$$\hat{H} = \begin{bmatrix} 0 & \gamma(\tau q_x + i q_y) \\ \gamma(\tau q_x - i q_y) & 0 \end{bmatrix}$$

バレー(フェルミポケット)と円偏光、  
ベリー曲率(有効磁場)の結合による  
電子-正孔対(エキシトン)の制御



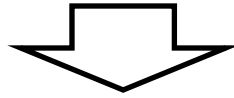
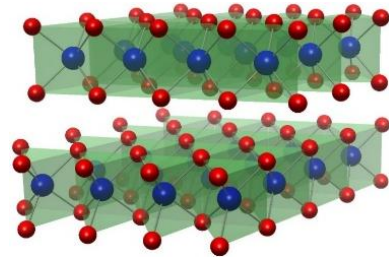
Onga, YJZ et al. *Nature Mater.* **12**, 1193-1197 (2017)

# 潤滑剤から〇〇へ

## 遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)

MoS<sub>2</sub>, エンジンオイル

検索

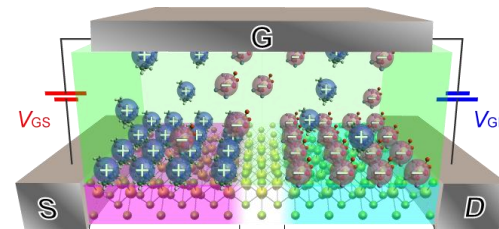


1, 電荷密度を変えて**超伝導**

2, 単層を取り出して

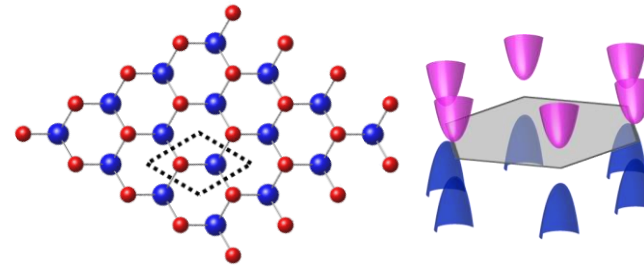
- **スピントロニクス材料**
- **エキシトニクス材料**
- **円偏光発光デバイス**

バレー(フェルミポケット)と円偏光、外部電場の結合による発光効率の制御



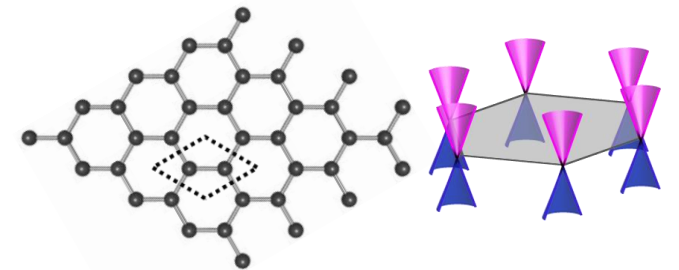
YJZ et al. Science 344, 725-728 (2014)

### 単層TMD

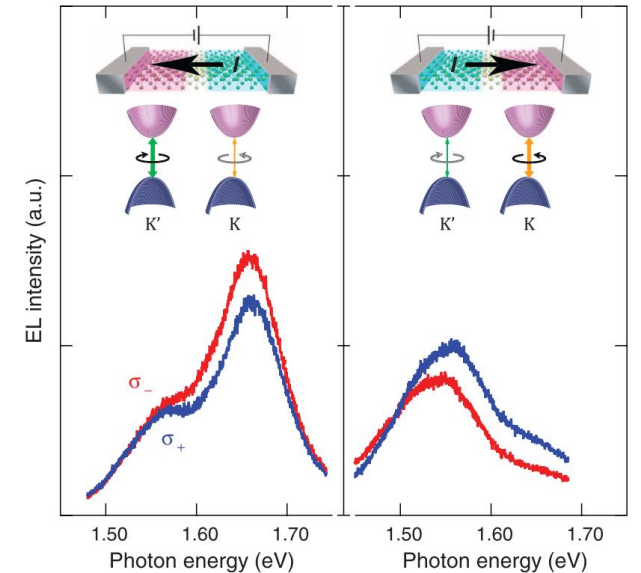


$$\hat{H} = \begin{bmatrix} \Delta/2 & \gamma(\tau q_x + i q_y) \\ \gamma(\tau q_x - i q_y) & -\Delta/2 \end{bmatrix}$$

### グラフェン



$$\hat{H} = \begin{bmatrix} 0 & \gamma(\tau q_x + i q_y) \\ \gamma(\tau q_x - i q_y) & 0 \end{bmatrix}$$

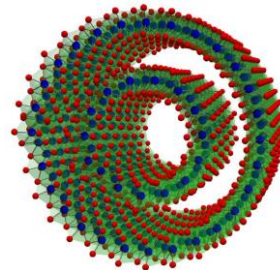
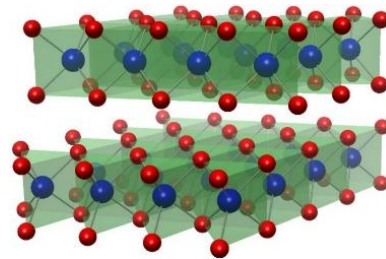


# 潤滑剤から〇〇へ

## 遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)

MoS<sub>2</sub>, エンジンオイル

検索



ベリー接続(有効ベクトルポテンシャル)の効果で極性を持つ。

光を当てるだけで電気が流れる。(p-n接合不要!)



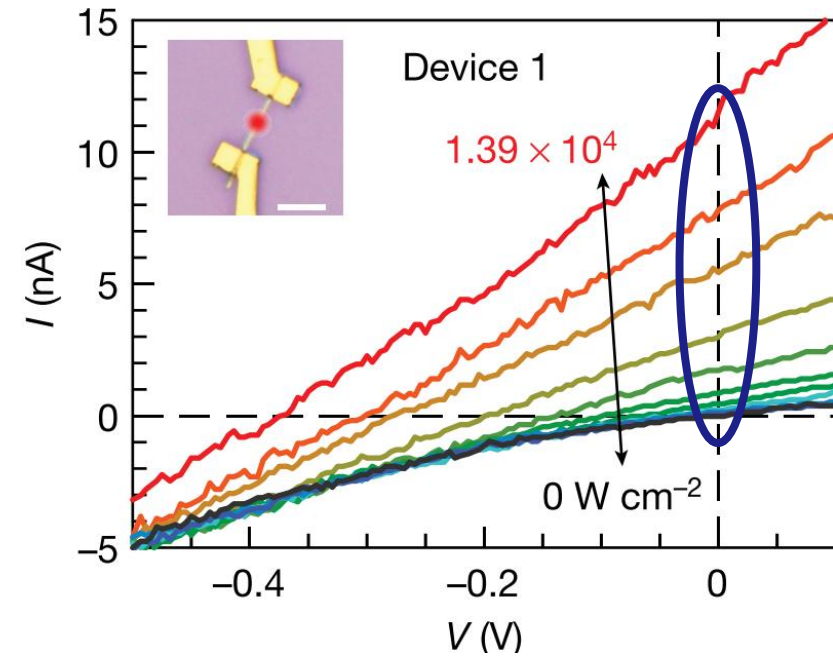
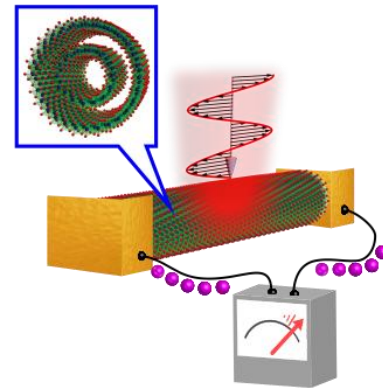
1, 電荷密度を変えて**超伝導**

2, 単層を取り出して

- ・スピントロニクス材料
- ・エキシトニクス材料
- ・円偏光発光デバイス

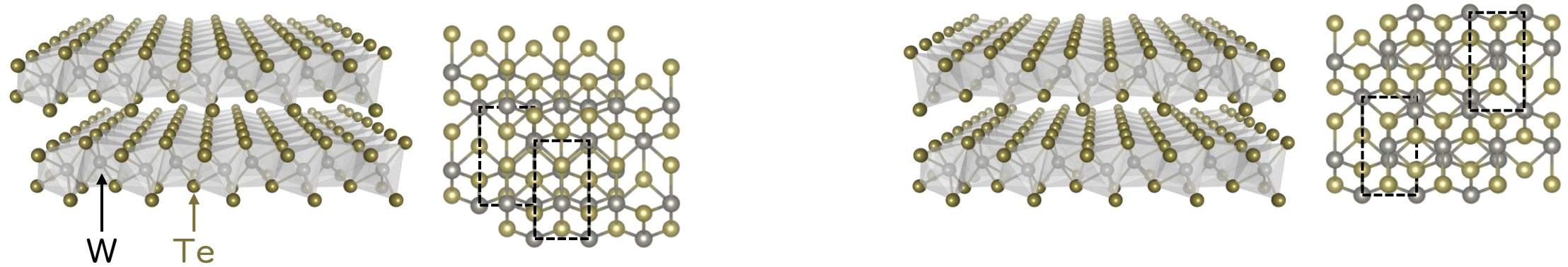
3, クルッと丸めて

- ・太陽光発電材料



YJZ et al. Nature **570**, 349-353 (2019)

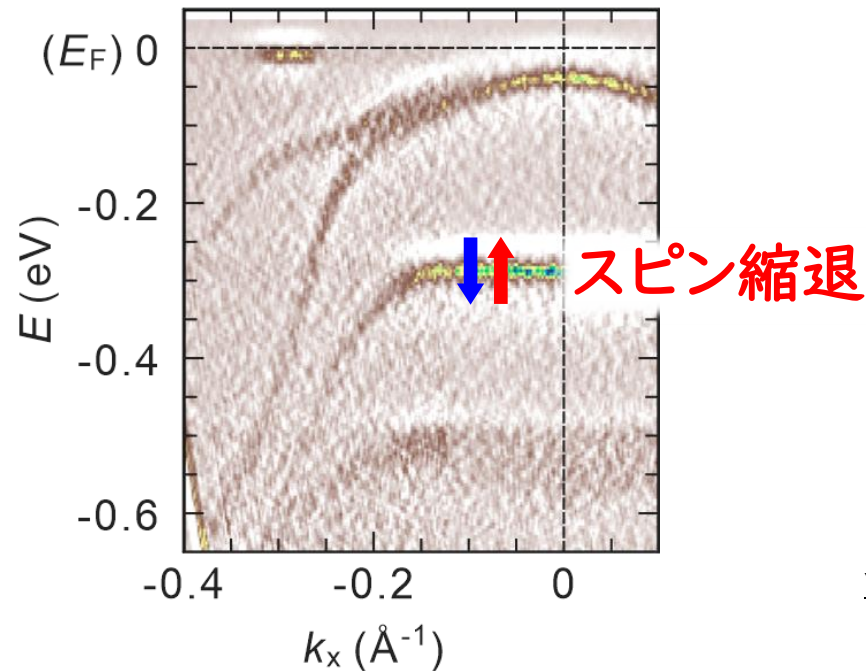
# スピン分裂は「手」で制御できる



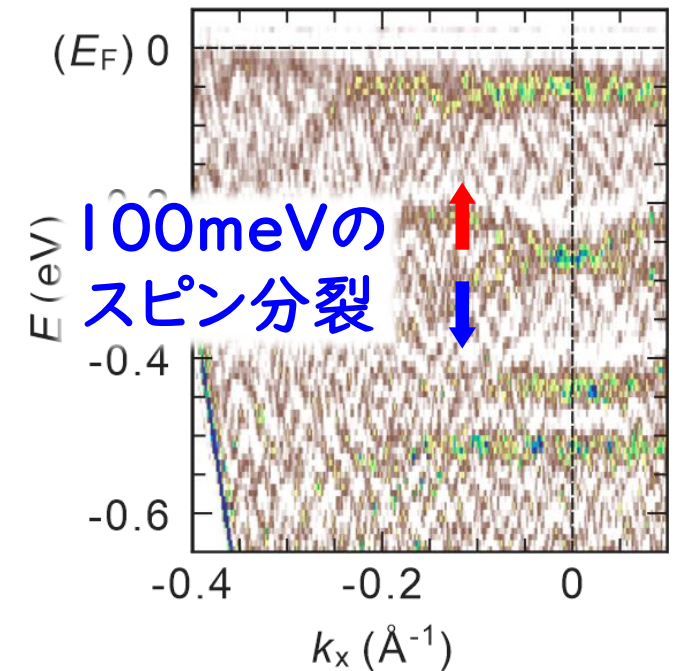
同じ向きで二枚重ねる

「Van der Waals積層」

180度回転させて重ねる



YJZ et al. *Nano Lett.* **23**, 9280-9286 (2023)

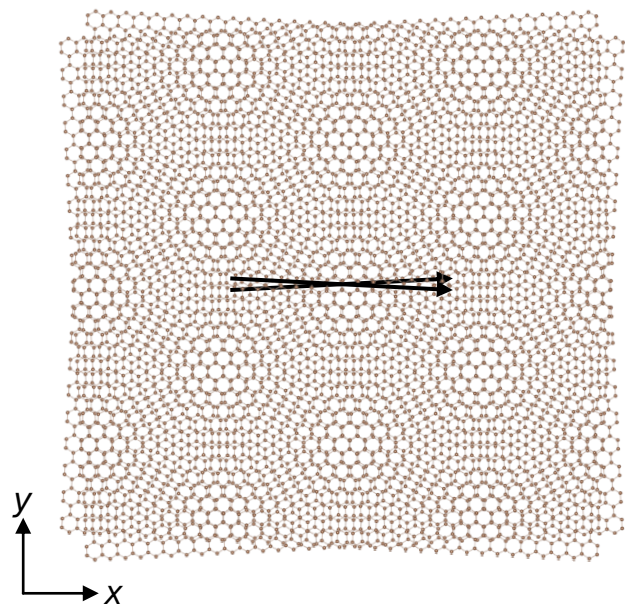


# アートと物性

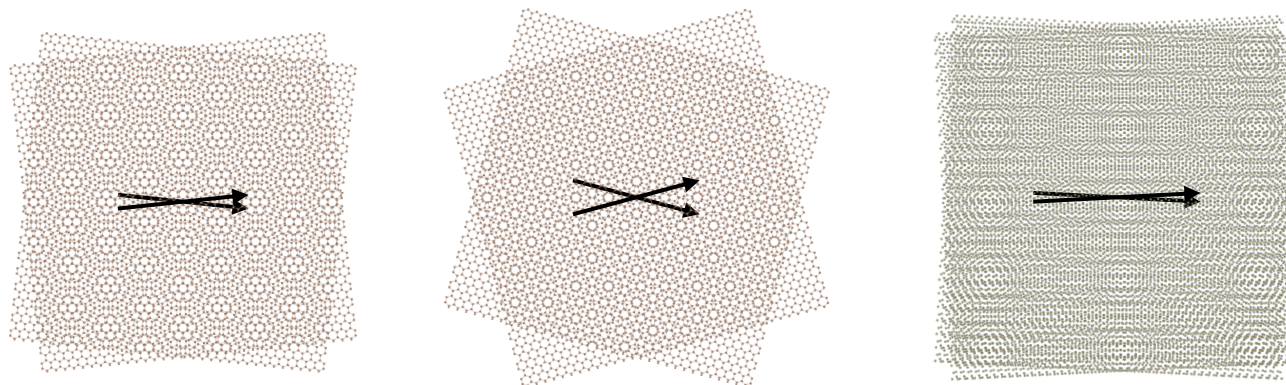
グラフェンを二枚重ねて捻る!



長周期の干渉模様が出現  
「モアレ超格子」

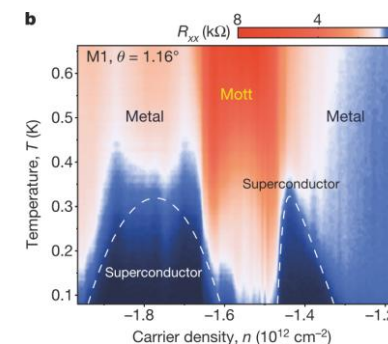
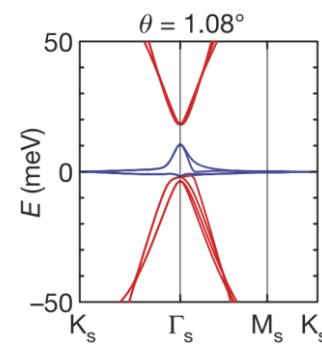
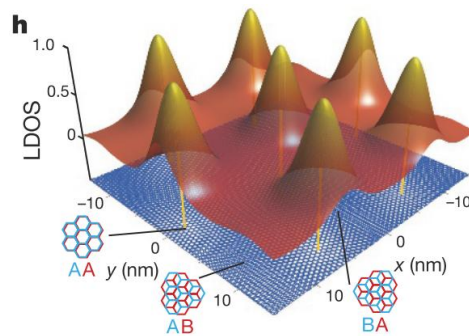


捻る角度や物質によって異なるモアレ超格子ができる



モアレ超格子の長周期ポテンシャルによって物性が変わる!

・グラフェンを $1.05^\circ$ 程度捻って重ねると超伝導



Cao et al. Nature **556**, 80-84 (2018) / Cao et al. Nature **556**, 43-50 (2018)

# 次元も変えられる!?

WTe<sub>2</sub> を二枚重ねて捻る!



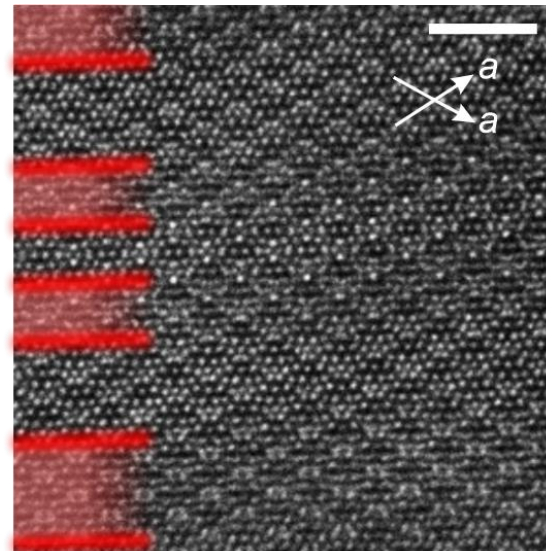
縞模様のモアレ超格子!?

モアレ超格子に沿って電荷の分布が縞状に閉じ込められる

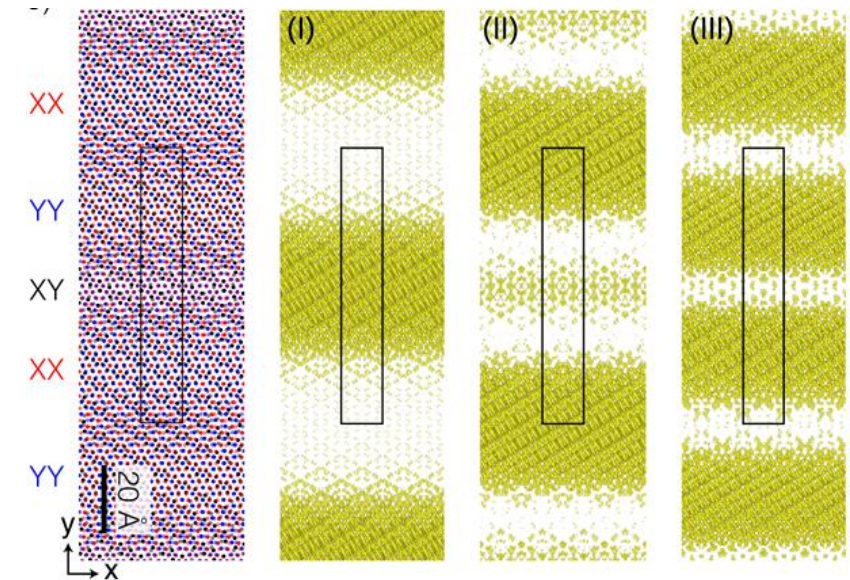


1次元~2次元の次元制御  
1.5次元物性の開拓

透過型電子顕微鏡写真



第一原理計算による電荷密度分布



Yang, **YJZ**, et al. *ACS Nano* **19**, 13007-13015 (2025)

Kawakami ... **YJZ** et al. arXiv:2601.21228

# 最後に

- 身の回りの物質でも隠れた性質はたくさんあります。
- 新しい物質、新しい視点、新しいテクニックがあれば最先端の科学研究ができます。
- 張研では「ナノマテリアル」を使って新しい物性の創出を目指しています。



中辻 教授、酒井 講師  
量子位相制御  
強相関多体系

小林 教授  
量子制御と精密測定



林 教授  
スピン物性

物性実験

島野 教授  
レーザー光量子物性



岡本 准教授  
半導体二次元電子系

張 准教授  
ナノマテリアル

