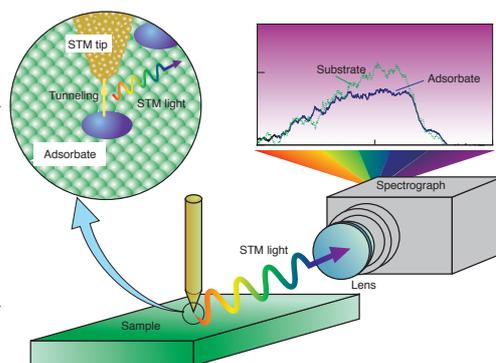


研究スタッフ

教授： 上原 洋一、 准教授： 片野 諭

研究目的

本研究室では、ナノメートル領域で起こる物理、化学現象の研究とナノフォトエレクトロニクス・デバイスへの応用を目的とした研究活動を展開している。走査トンネル顕微鏡 (scanning tunneling microscopy, STM) の探針から放出される電子ビームを利用したナノ構造の光電子物性の解明、新奇なナノスケール計測法の開発を通して、次世代デバイスへの応用展開を進めている。



STM発光分光法。STM探針からよく収束されたトンネル電子ビームを探針直下のナノ構造に照射し、励起される発光を分光、解析することにより、探針直下のナノ構造の物性を決定する。

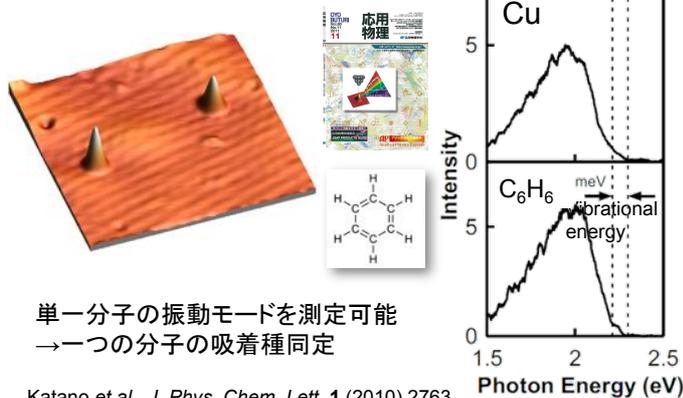
主な研究テーマ

1. ナノ構造の物性・機能探索、分子エレクトロニクス

近い将来、現在の Si 技術が到達するであろうダウンサイジングの限界を突破するために、次世代の分子をベースとした電子デバイスの加工と動作の原理に関する研究を行っている。STM の電子トンネルを用いることにより、固体表面の個々の原子や分子の位置を変えたり、それらに化学反応を誘起することが可能である。このような単一原子・分子の光電子特性を STM を用いて明らかにする研究を進めている。

単一分子のSTM発光と振動分光

ベンゼン/Cu(110)のSTM発光



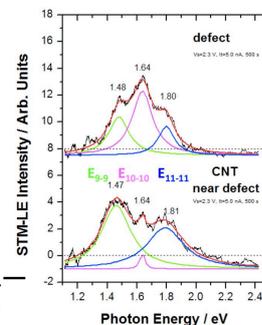
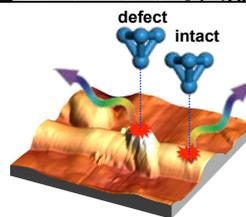
単一分子の振動モードを測定可能
→一つの分子の吸着種同定

Katano et al., *J. Phys. Chem. Lett.* **1** (2010) 2763.

Katano et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.* **12** (2010) 14749.

カーボンナノチューブ光素子

電圧パルスによる欠陥導入

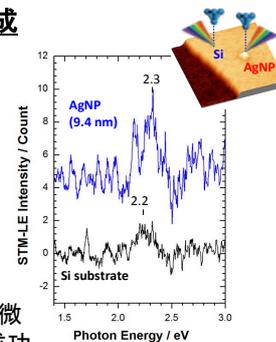
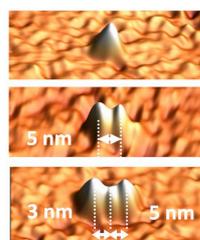


電子注入によるカーボンナノチューブの局所加工と発光制御に成功

Katano et al., *J. Vac. Soc. Jpn.* **59** (2016) 92.

金属ナノ微粒子形成と発光物性

STMによる銀ナノ微粒子形成

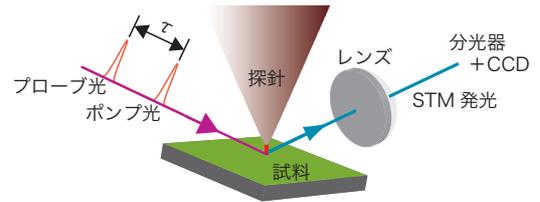


電界蒸発による個々の金属ナノ微粒子の精密配置と発光計測に成功

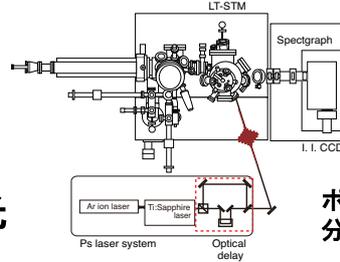
Katano et al., *J. Phys. Chem. C* **120** (2016) 28575.

2. 高い時間と空間の分解能を併せ持つナノ構造解析手法の開発

STMは原子レベルの空間分解能を有し、優れたエネルギー分析能力と相まって、広範囲な研究分野で革新的な成果をもたらした。しかし、微弱なトンネル電流検出に基づくため、動作原理上、時間分解能は大きな制約を受ける。ピコ秒かそれより優れた時間分解能を有するSTMは現在でも活発に研究開発がなされている。我々はポンプ-プローブSTM発光分光法を提案し、従来の高い空間分解能とエネルギー分解能に加え、ピコ秒の時間分解能を有するナノ構造解析手法の開発に成功した。



ポンプ-プローブSTM発光分光法



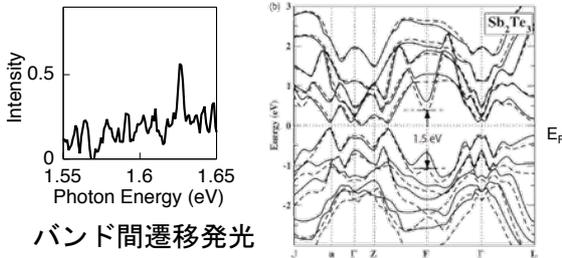
- Light source: Mode-locked Ti:sapphire laser (rep. rate: 80 MHz)
- STM: operated at 77K in UHV
- Tip: W

ポンプ-プローブSTM発光分光法の実験システム

Sb₂Te₃のポンプ-プローブSTM発光分光

Sb₂Te₃のSTM発光計測

STM発光スペクトル Sb₂Te₃のバンド構造



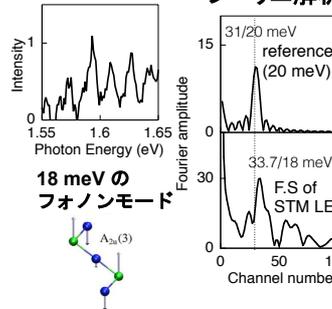
バンド間遷移発光

発光光子エネルギーからギャップエネルギーがわかる

Uehara et al., Solid State Commun., 149, 1902 (2009).

レーザー照射下におけるSb₂Te₃のSTM発光

フーリエ解析 Sb₂Te₃のフォノンエネルギー



18 meVのフォノンモード



G. C. Sosso et al., J Phys-Condens Mat, 21, 095410 (2009).

Mode	This work (exp. cell)	Exp. ^a	a ² or c ²	b ² or d ²
E _g (1)	46	49	0.00	0.18
A _{2u} (1)	62	67	2.97	4.35
E _g (2)	113	117	12.85	10.12
A _{1g} (2)	166	169	3.28	0.46

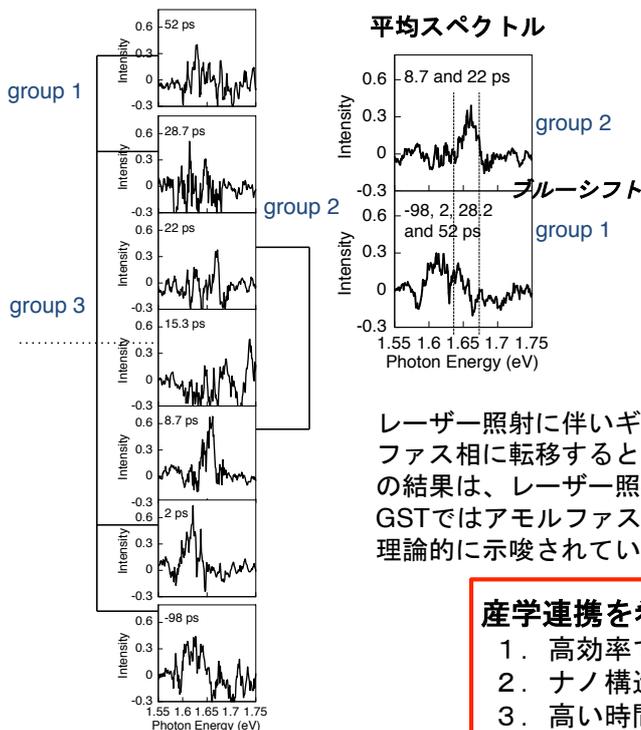
Mode	This work (exp. cell)	Exp. ^a	p _x	p _y	p _z
E _g (2)	72	77 (128)	0.0214	0.0152	0.0000
E _g (3)	99	100 (100)	0.0005	0.0009	0.0000
A _{2u} (2)	108	109 (114)	0.0000	0.0000	0.0053
A _{2u} (3)	145	146 (154)	0.0000	0.0000	0.0046

フォノン（周波数: 18 meV = 145 cm⁻¹）とSTM発光との相互作用に基づく周期構造。周期からフォノン・エネルギーが決定される

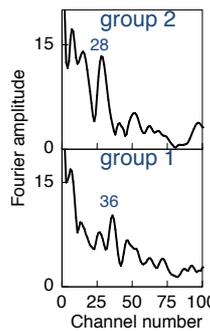
周期からフォノン・エネルギーが決定される

Uehara et al., Solid State Commun., 177, 29 (2014).

Sb₂Te₃ポンプ-プローブSTM発光分光



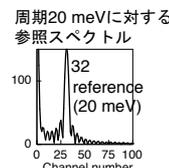
周期解析



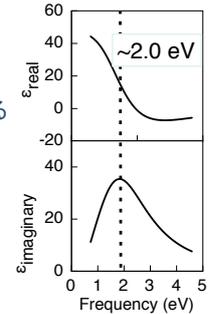
$$20\text{meV} \times \frac{(32-1)}{(28-1)} = 23\text{meV}$$

ブルーシフトが見られる

$$20\text{meV} \times \frac{(32-1)}{(36-1)} = 18\text{meV}$$



アモルファス相の誘電関数



吸収のピークが 1.6→2.0 eVにシフト

レーザー照射に伴いギャップ・エネルギーが上昇した。誘電関数からは、アモルファス相に転移すると、ギャップ・エネルギーが増加する。従って、P-P STM発光の結果は、レーザー照射により、相転移の前駆段階になっていることを示唆する。GSTではアモルファス相への転移によりフォノンモードがブルーシフトすることが理論的に示唆されている。これは観測されたフォノン周波数の上昇と一致する。

産学連携を希望するテーマ例

1. 高効率で広帯域の発光・受光素子の開発
2. ナノ構造の物性・機能探索、分子ナノエレクトロニクス
3. 高い時間分解能を併せ持つナノ構造解析手法の開発