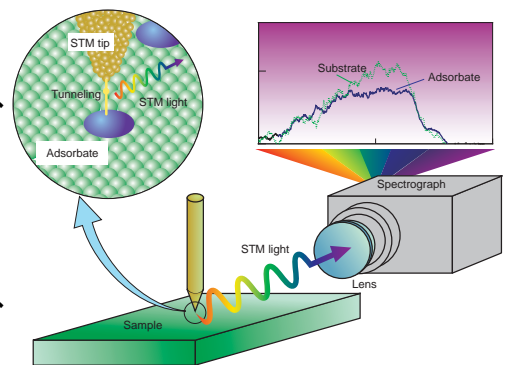


研究スタッフ

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ック・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. 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

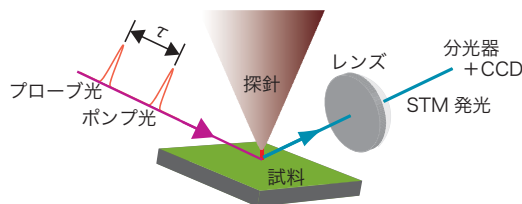


図 1-1 ポンプ-プローブSTM発光分光法

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 (図 1-1) 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。

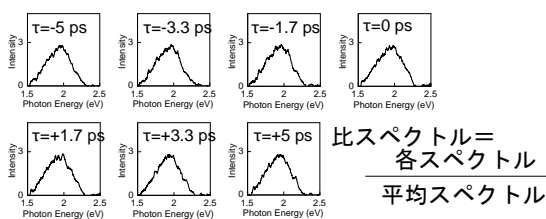
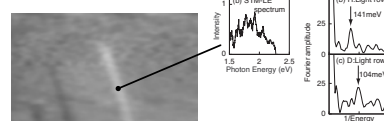
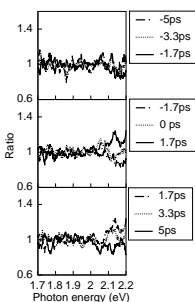


図 1-2 試料がAuのポンプ-プローブSTM発光スペクトル (上)。比スペクトル (右) から、ピコ秒の時間分解能を有することがわかる。



STM image of Ni(110) (ST 1x2) H による吸着水素原子の振動エネルギーの決定

τ	Peak energy
52 ps	1.62 eV
28.7 ps	1.62 eV
22 ps	1.62 eV
15.3 ps	消失 (?)
8.7 ps	1.66 eV
2 ps	1.62 eV
-98 ps	1.62 eV

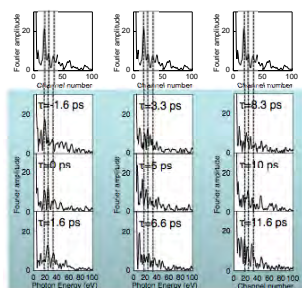
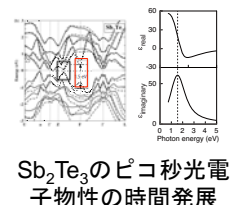


図 1-4 ポンプ-プローブSTM発光による吸着水素原子の振動モードの時間発展

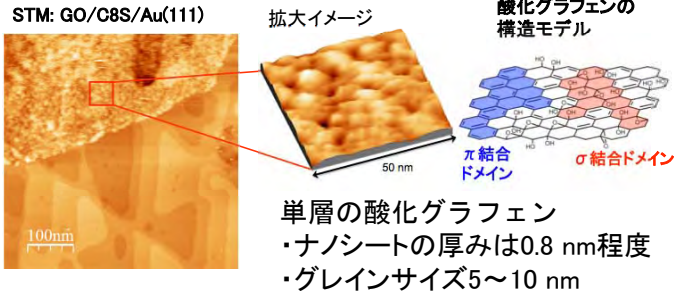


Sb₂Te₃のピコ秒光電子物性の時間発展

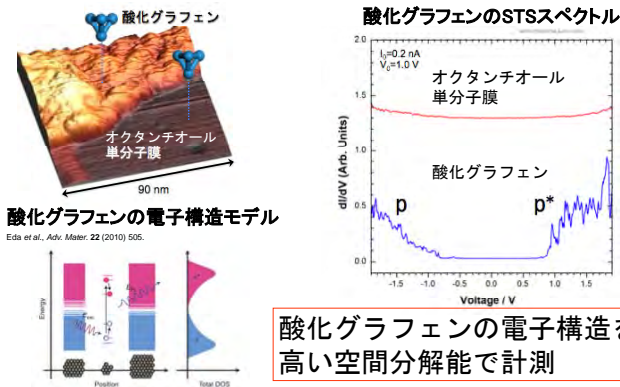
2. ナノ構造の物性・機能探索、分子エレクトロニクス

酸化グラフェンを土台としたナノデバイス

STMを用いたナノ構造観察

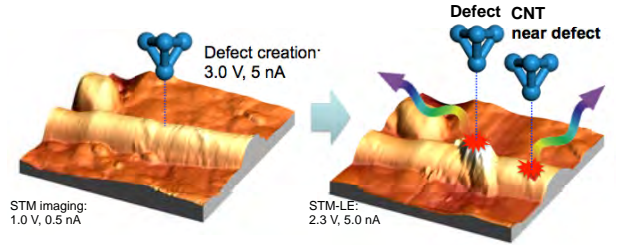


STSを用いた局所電子状態計測



カーボンナノチューブ光素子

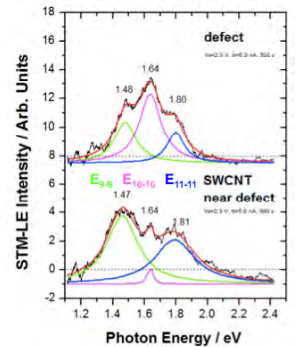
電圧パルス印加による欠陥構造の導入



ナノ構造特異点からの発光

発光ピークの強度分布が大きく変化

- 電子格子相互作用を媒介したサブバンド間のキャリア緩和抑制
- 欠陥導入により発光過程を制御することが可能



電子注入によるカーボンナノチューブのナノスケール加工と発光制御に成功

3. 高効率で広帯域の発光・受光素子の開発

図3-1のように、ごく薄い絶縁膜により絶縁された2枚の電極から構成される素子はトンネル接合と呼ばれ、電極間に電圧を印加すると電子トンネル現象による電流が流れる。トンネル接合中には、酸化膜中で大きな振幅を有し、酸化膜から離れるに従い急速に減衰する電磁波モード（以下、局在モードと呼ぶ）が存在する。局在モードはトンネル電子と強く相互作用をするため、電子トンネリングにより高効率で励起される。図3-2は電子トンネリングにより励起される局在モードの状態密度の一例である。同じ周波数の局在モードと伝搬光の間には波数不整合 Δk があるため、局在モードから発光（伝搬光）を得るためには Δk を解消するための機構が必要となる。

図3-1のようなトンネル接合を真空蒸着法で作製し適当なバイアス電圧を印加すると、可視発光に加え、図3-3に示すように、THz光の発光も観測される。トンネル接合界面に自然に形成される粗さが $\Delta k = 10^6 \text{ cm}^{-1}$ 程度以下の波数不整合の解消を可能にすることから、これらの発光は、局在モードからの発光であると考えられている。

図3-2によれば、可視域の状態密度（右）は波数が 10^6 cm^{-1} 程度よりも大きい波数領域で低下する。一方、THz域の状態密度（左）は 10^7 cm^{-1} まで維持されている。トンネル接合の構造を工夫することにより全ての波数領域の局在モードを発光性にすることが出来れば、トンネル接合は高効率のTHz光源となることが期待され、そのような素子の開発を行っている。

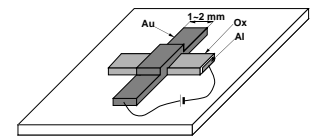


図3-1 トンネル接合

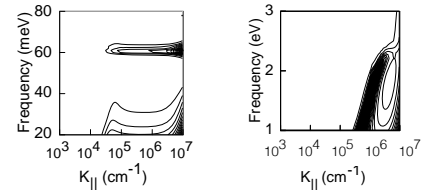


図3-2 Al-Ox-Auトンネル接合中に閉じ込められた局在モード

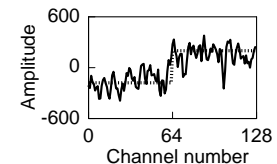


図3-3 トンネル接合からのTHz発光。0~64チャンネルではバイアス電圧を印加。残りのチャンネルではバイアス電圧を印加していない。

通研共同プロジェクト研究: 電子トンネリングを利用した広帯域の光発生と検出(H22/A05)