

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 サブサイクル時間分解走査トンネル顕微鏡法の開発と応用

筑波大学・数理物質系・教授

しげかわ ひでみ
重川 秀実

研究課題番号： 17H06088 研究者番号：20134489

研究分野： 数物系科学

キーワード： 走査トンネル顕微鏡法、CEP 制御、サブサイクル分光

【研究の背景・目的】

原子レベルの空間分解能を持つ走査トンネル顕微鏡（STM）とフェムト秒領域の時間分解能を持つ超短パルスレーザー技術を融合することにより、（1）STM（原子レベル）の空間分解能で局所構造や電子状態を確認しながら、（2）フェムト秒（光学的パルス幅）の時間分解能で分光を行うことが可能な新しい分光技術の研究を進め、世界に先駆けて同手法の開発に成功すると共に局所スピンの超高速ダイナミックスの計測などを可能にしてきた。本研究では、こうした技術を基盤とし、CEP(carrier envelope phase)と呼ばれるパルス光内の電場の位相の直接制御など、量子光学の先端技術を導入することにより、サブサイクル(電場一周期)の現象を制御して STM の空間分解能でプローブすることを可能にする極限計測法を開発し、新たな科学領域の開拓を試みる。

【研究の方法】

開発を進めてきた時間分解 STM は、光学的ポンププローブ法を STM と融合することにより誕生したが、パルス光には数周期の電場が含まれ、その位相も制御されてはいなかった。本研究では、新光源や位相制御などの先端技術を導入し、励起光の位相変調など微弱信号を取り出す為の新たな工夫を凝らすことにより、サブサイクルのダイナミックスを STM の分解能で顕わにする測定法を実現する。STM 探針直下の電場は 10^6 倍程の大きさに増幅される為、STM で周囲の環境を確認しながら、目的とする局所構造を選択的に励起できる。従って、モノサイクルのパルス光を用い CEP 制御することで、局所物性を励起電場で制御しながらダイナミックスをサブサイクルでとらえる仕組みが可能になる。

【期待される成果と意義】

図 1 に分子を対象とした場合の例を示す。通常の超高速分光では物性を励起した後の緩和過程を観察するが、本手法では物性を制御しながらサブサイクルで時間分解測定を行う。こうした情報は分子機能を最大限に引き出すだけでなく、全く新しい機能を発現させ活用する為の基礎となる可能性を持ち、分子マシン、触媒、薬剤開発など幅広い応用が拓ける。また測定対象は分子に限らず半導体素子内のキャリアや相転移のダイナミックスなど多岐に亘り、新しい学術領域の創出が期待される。

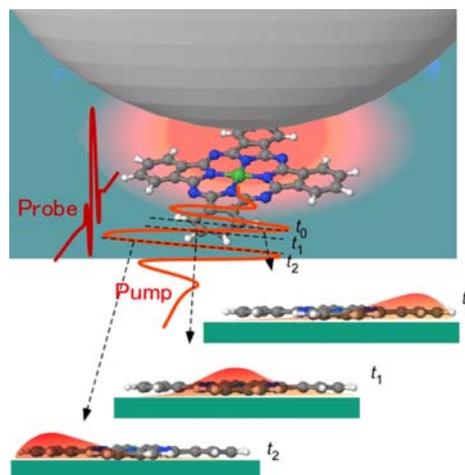


図 1 モノサイクルの外場により単一分子内の電荷移動や遷移、分子構造などを制御し、それらダイナミックスを STM を用いて計測し可視化する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Y. Terada et al., Real space imaging of transient carrier dynamics by nanoscale pump-probe microscopy, *Nature Photon.* 4, 869-874 (2010).
- S. Yoshida et al., Probing ultrafast spin dynamics with optical pump-probe STM, *Nature Nanotech.* 9, 588-593 (2014).
- S. Yoshida et al., Revealing conformational dynamics in single-molecule junction by site- and angle-resolved dynamics probe method, *ACS Nano* 10, 11211-11218 (2016).
- K. Yoshioka et al., Real-space coherent manipulation of electrons in a single tunnel junction by single-cycle terahertz electric fields, *Nature Photon.*, 10, 762-765 (2016).

【研究期間と研究経費】

平成 29 年度－33 年度 453,600 千円

【ホームページ等】

<http://dora.bk.tsukuba.ac.jp/>
hidemi@ims.tsukuba.ac.jp