

中赤外レーザー融合走査型トンネル顕微鏡と物質科学

筑波大学 数理物質系

嵐田 雄介, 畑中 陽, 梅田 直樹, 高松 暉, 茂木 裕幸, 吉田 昭二, 武内 修, 重川 秀実

Mid-infrared-light-driven time-resolved scanning tunneling microscopy for material science

Faculty of pure and applied science, University of Tsukuba

Y. Arashida, A. Hatanaka, N. Umeda, A. Takamatsu, H. Mogi, S. Yoshida, O. Takeuchi,

H. Shigekawa

物性発現の基礎過程を直接的に解明するために、光の電場を利用して走査型トンネル顕微鏡(STM)を駆動する試みが行われている[1]。これまでにテラヘルツ波を用いることで単分子のバウンド運動や分子結晶のキャリアダイナミクスが原子スケールで明らかになってきた[2, 3]。本講演ではこれらの研究の進展を紹介すると共に、より速い現象を解明するための本研究の取り組みとして、中赤外線(MIR)の電場駆動 STM により時間分解能 29 fs の達成および半導体結晶の非平衡電子系を観察した結果について紹介する[4]。

本研究では光パラメトリックチャープパルス増幅器（波長範囲 680~940 nm、パルス幅 8.1 fs、繰返し周波数 4 MHz、パルスエネルギー1 μ J）を光源として用いた。この基本波を GaSe 結晶に入射させることで 1 サイクル以下の広帯域 MIR パルスが発生させた。試料として層状半導体 MoTe₂ を用いて超高真空 STM を行ない、図(a)の様に探針先端に MIR パルスを集光させることでトンネル電流の瞬時制御を行なった。予め分割された基本波(NIR パルス)を遅延時間を付けて試料に入射させることでバンド間励起後の電子系のダイナミクスを観察した。図(b)にトンネル電流の超高速変化を示す。励起直後 0 fs 近傍では hot electron による寄与により 29 fs の時間スケールでトンネル電流変化が現れた。100 fs 以降の領域では電流量が 220 fs で増加し 720 fs で減衰する様子が観察された。これは光励起された電子系による遮蔽効果によりバンドギャップが収縮したことに起因している。このように光電場駆動 STM は非平衡電子物性を新しい切り口で観察できる技術であり、今後の展望として原子スケールでの光誘起相転移や化学反応の可視化などが期待される。

[1] T. L. Cocker *et al.*, Nat. Photon. 7, 620 (2013). [2] T. L. Cocker *et al.*, Nature 539, 263 (2016). [3] S. Yoshida *et al.*, ACS Photon. 8, 315 (2021). [4] Y. Arashida *et al.*, ACS Photon. 9, 3156 (2022).

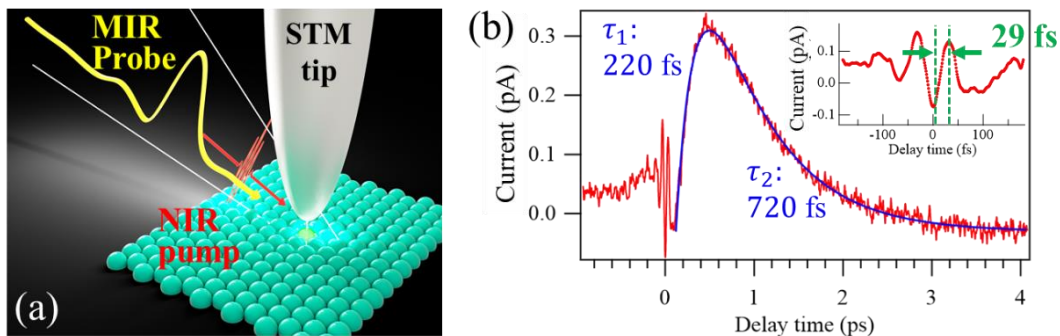


図 (a)光電場駆動 STM. (b)光励起された MoTe₂ のトンネル電流変化. 挿入図 : 0 fs 近傍の拡大図.