

中赤外パルスを用いた光波駆動型走査トンネル顕微鏡の開発

Lightwave-driven scanning tunneling microscopy using mid-infrared pulses

筑波大数理 〇嵐田 雄介, 茂木 裕幸, 梅田 直輝, 高松 暉, 石川 雅士, 畑中 陽,
吉田 昭二, 武内 修, 重川 秀実

Institute of pure and applied science, Univ. of Tsukuba, 〇Y. Arashida, H. Mogi, N. Umeda,

A. Takamatsu, M. Ishikawa, A. Hatanaka, S. Yoshida, O. Takeuchi, and H. Shigekawa

E-mail: arashida.yusuke.kb@u.tsukuba.ac.jp

物性発現の基礎過程を原子スケールの実空間変化として理解するために、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[1,2]。電磁波によりバイアス電圧を変化させることで電子系の瞬時的な局所状態密度を得ることが可能である。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観察されてきた[3, 4]。本研究では電子系が非平衡となる時間領域の物性解明を目的とし、1 サイクル以下の中赤外パルスを利用することで時間分解能 29 fs の光波駆動 STM の開発に成功したことを報告する[5]。

実験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 サイクル以下の中赤外パルスを発生させた。試料として層状半導体 MoTe₂ を用いて超高真空 STM を行ない、探針先端に中赤外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。予め基本波である NIR パルスに遅延時間を付けて試料に入射す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。Figure 1 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 の時間分解能でトンネル電流変化が現れた。また 220 fs で電流量が増加し 720 fs で減衰する様子は、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の値が変化したことに起因している。この結果は中赤外光波駆動 STM が非平衡電子物性を観察可能であると実証しており、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] K. Yoshioka *et al.*, *Nat. Photon.* **10**, 762 (2016), [3] T. L. Cocker *et al.*, *Nature* **539**, 263 (2016). [4] S. Yoshida *et al.*, *ACS Photon.* **8**, 315 (2021). [5] Y. Arashida *et al.*, *ACS Photon.* **9**, 3156 (2022).

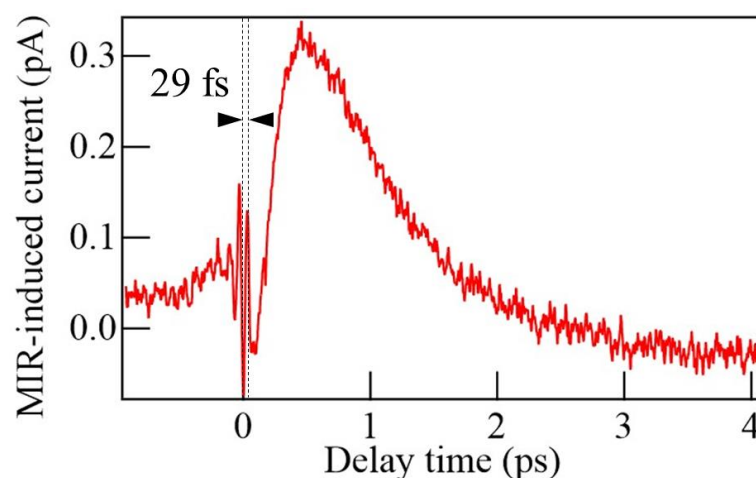


Fig. 1, Waveform of MIR-induced tunneling current on photo-excited MoTe₂