

光励起時間分解 SPM の多様化と発展

Recent Advances and Diversification of Photo-excited Time-resolved SPM

筑波大数理¹ ◯茂木 裕幸¹, 嵐田 雄介¹, 吉田 昭二¹, 武内 修¹, 重川 秀実¹

Univ. of Tsukuba¹, ◯Hiroyuki Mogi¹, Yusuke Arashida¹, Shoji Yoshida¹,

Osamu Takeuchi¹, Hidemi Shigekawa¹,

E-mail: mogi.hiroyuki.fp@u.tsukuba.ac.jp, <https://dora.bk.tsukuba.ac.jp/>

走査プローブ顕微鏡 (SPM) は、表面・界面の構造や電子状態、力学応答等をナノスケールで可視化する強力な手法として発展してきた。この発明以降、SPM は単なる静的観察手法にとどまらず、光学的・電氣的・力学的な外場を組み合わせることで、局所物性の外場応答を調べる計測プラットフォームへと拡張されている。近年では、光パルス励起と SPM を組み合わせた光励起時間分解 SPM が発展し、光キャリアや励起子などの電子正孔系が生み出す過渡応答を、nm の空間分解能かつ超高速領域の時間分解能で追跡することが可能になっている。

光励起時間分解 SPM の基本的な考え方は、光パルスにより試料内に非平衡状態を生成し、その後の緩和・輸送・再結合過程等のダイナミクスを探針で局所検出する、というものである。これまで、光ポンプ-プローブ法を応用した時間分解 STM が開発され、光励起に伴うトンネル電流変化、つまり局所電子状態や表面ポテンシャル応答が調べられてきた。また、AFM 技術と組み合わせ、光照射により生じる静電力や光誘起力応答、そして近接場応答等を検出する等、絶縁体を含む幅広い対象で生じる種々のダイナミクスを計測する技術へ展開されている。

本講演では、光励起時間分解 SPM の基本概念を概説するとともに、講演者が取り組んできた光励起多探針時間分解 STM (tr-MPSTM) および時間分解 AFM の研究例を紹介する。tr-MPSTM では、超短パルス光と多探針 STM を組み合わせ、原子層半導体デバイス構造における光励起キャリア・励起子ダイナミクスの評価を進めてきた[1]。また、時間分解 AFM では、光励起後に生じる表面誘電応答に起因する過渡的な力ダイナミクスを検出する手法を開発した[2], [3]。

今後、複数の光 SPM 計測技術を統合し、任意の光励起状態の生成、輸送、緩和を複数の物理量から同時に理解する多機能計測等への発展も期待できる。当日は、これらの研究例と展望を通じて、プローブ顕微鏡の未来に向けた光励起時間分解 SPM の役割についても議論したい。

[1] H. Mogi et al. *npj 2D mater. Appl.*, 6, 72 (2022),

[2] H. Mogi et al., *Appl. Phys. Express*, 17, 015003 (2024),

[3] K. Iwaya et al, *Imaging & Microscopy* 26, 34 (2024)

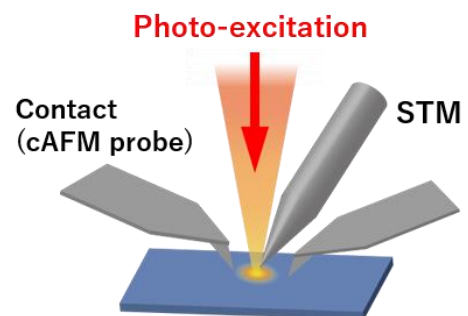


Fig. 1 Photo-excited time-resolved multiprobe STM [1]

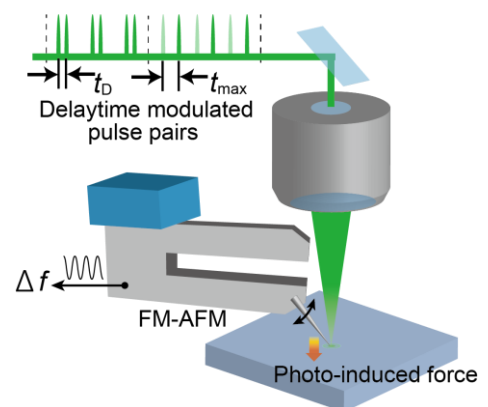


Fig. 2 Tuning fork type time-resolved frequency modulation AFM [2], [3]