

時間分解静電気力プローブ顕微鏡の3次元展開

○松本卓也

大阪大学大学院理学研究科化学専攻

3D Time-Resolved Electrostatic Force Microscopy

○Takuya Matsumoto

Department of Chemistry, Graduate School of Science, Osaka University

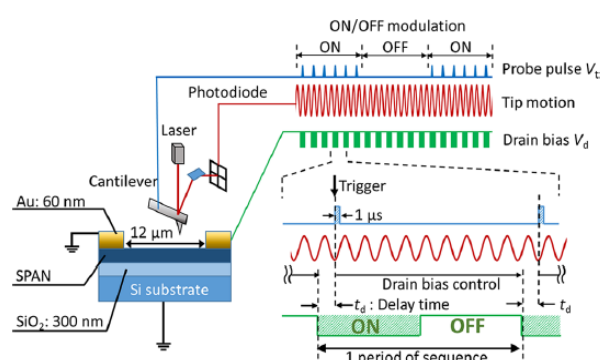
1. はじめに

表面の静電分布を画像化する静電気力顕微鏡（ケルビンプローブ顕微鏡を含む）は、原子分子分解能で表面の電荷や電気分極を知ることのできる方法として、広く用いられてきた。特に周波数シフト法の普及による感度、分解能の向上は著しく、様々な系への応用が報告されてきた。しかし、多くの研究は、静的な表面ポテンシャルの計測にとどまり、有機太陽電池、触媒、光合成、有機デバイスなどナノスケールの電荷ダイナミクスが重要な物質・デバイスの核心に迫るためには、時間分解測定を実現することが極めて重要である。

走査プローブ顕微鏡は高い感度と分解能を得るため、ハイインピーダンスの検出系が必要であり、本質的に遅い応答特性を持つ計測手法である。一般に、このようなシステムで時間分解計測を実現するためには、2パルス法が用いられるが、2回の励起パルスの時間間隔と観測対象の緩和過程の時間スケールが同程度であること、および現象の強度が励起強度に対して非線形性をもつことが必要である。2パルス法による時間分解走査プローブ顕微鏡研究の対象の多くが半導体であるのは、バンドの曲がりや電荷量の変化を、キャリアの光励起により容易に飽和に近い状態に持ち込むことができるので、非線形応答を得やすいからである。ところが、電荷移動が重要な役割を果たす材料の多くは電気伝導性が低いので、生成した電荷が試料の電子状態に影響を与えた結果を見るのではなく、孤立的な電荷のホッピングやマイグレーションそのものを観測する必要がある。

2. 探針同期型時間分解静電気力顕微鏡

このような電荷の動きをとらえる方法として、探針同期型静電気力顕微鏡の開発してきた。光励起電荷生成とカンチレバー振動の同期を利用すれば、電気回路

Fig. 1. 探針同期型時間分解静電気力顕微鏡²⁾

的な時定数の影響を受けない 100 ナノ秒レベルの時間分解能を持つ計測が可能である。有機薄膜太陽電池に適用した例について紹介する¹⁾。

一方、カンチレバー振動より長い減衰時間を持つ系では、カンチレバー振動を利用した時間窓だけでは遅延時間依存性が弱く、高抵抗の電気伝導性高分子薄膜のような電荷密度の薄い系では、充分な S/N 比で時間分解測定を行うことが困難である。このような場合、カンチレバー振動に同期して電荷注入を行うだけでなく、遅延時間後にカンチレバー運動と同期して探針にプローブパルス電位を与えることで、S/N 比を著しく改善できる²⁾。

このような探針同期型の時間分解手法を用いれば、電極電位とプローブ電位を自在に制御できるので、複数電極を用いた面内異方性の時間分解計測や、垂直方向の電荷移動の時間分解計測が可能となる。3次元方向への展開に関する試みについて報告する。

文 献

- 1) K. Araki, Y. Ie, Y. Aso, H. Ohyama and T. Matsumoto: Communications Physics **2**, 10-1-8 (2019).
- 2) K. Kajimoto, K. Araki, Y. Usami, H. Ohoyama, T. Matsumoto: J. Phys. Chem. A **124**, 5063–5070 (2020).

*E-mail: Matsumoto-t@chem.sci.osaka-u.ac.jp