

高速 AFM/ラマン分光マルチモーダル計測装置の開発

物理学系専攻 応用物理学コース
バルマ研究室 楊 恵詩

1. はじめに

高速原子間力顕微鏡(高速 AFM)は、試料表面を探针で高速スキャンすることで、試料をナノスケールで動画観察できる[1]。約 1nm の空間分解能と 10 フレーム/秒の時間分解能で、生体タンパク質の構造変化をリアルタイムで観察できるため、生体分子ダイナミクスの解明に貢献してきた。近年、高速 AFM をさらに機能化する研究が進んでおり、局所光照射系を高速 AFM に複合させた装置によるナノスケールの局所光誘起反応の観察など、新たな応用が展開されている[2]。高速 AFM で観察している生体タンパク質の多くは、内部の化学結合変化に伴って構造変化が引き起こされ、機能を発現する。生体分子の構造変化を観察しながら、分子内部の化学結合がどのように変化しているのかも同時計測できれば、生体機能ダイナミクスのより詳細な解明に貢献できる。そこで本研究では、高速 AFM/ラマン分光マルチモーダル計測装置を開発した(図 1)。物質に光を照射すると発生する散乱光には、試料の分子振動情報が有するラマン散乱光が含まれている。このラマン散乱光を分光すれば、試料の化学結合情報を取得できる。高速 AFM にラマン分光法を複合化できれば、構造変化とそれに伴う化学結合変化を同時に分析でき、生体機能のより詳細な理解に繋げられる。

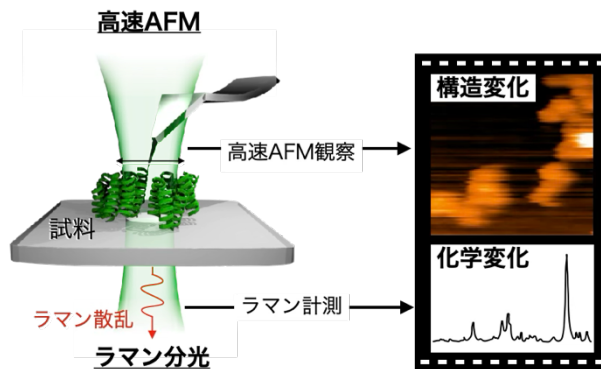


図 1: 高速 AFM/ラマンマルチモーダル計測装置の概念図

2. 高速 AFM/ラマン分光マルチモーダル計測装置

図 2 は、開発した高速 AFM/ラマンマルチモーダル計測装置である。倒立型光学顕微鏡に搭載可能なチップスキャン型高速 AFM を用い、その下にラマン分光系を構築した[3]。光学系には、カンチレバー先端の散乱光強度を検出する光検出器と、レーザー照射位置を移動させるピエゾミラーを導入した。光検出器の画像を確認しながらピエゾミラーを用いることで、ラマン計測用の励起レーザー集光位置と高速 AFM 観察している探针の位置を精密に一致させ、高速 AFM で観察する領域のラマンスペクトルを得られる。さらに、ラマン検出系に EMCCD カメラを用いることで、高感度なラマン計測を可能にし、高速 AFM 画像 1 枚につき同期してラマンスペクトルを 1 つ取得できる。



図 2: 実際に開発した高速 AFM/ラマンマルチモーダル計測装置

3. グラフェンを用いた高速AFM/ラマン分光マルチモーダル計測

開発した装置を用いて、グラフェンの高速AFM/ラマンマルチモーダル計測を行った(図3)。ラマン計測用レーザーは高速AFM観察箇所を照射している。高速AFM走査速度は2フレーム/秒であり、ラマン計測のための露光時間は0.5秒と同じ速度であるため、高速AFM画像取得と同時にラマンスペクトルを検出できる。計測中、高速AFMははじめグラフェンの外を観察しており、ラマンスペクトルにはピークが現れていない。測定中にグラフェンが高速AFM観察範囲内に入ると、高速AFM観察視野内にグラフェンのエッジが現れ、同時にラマンスペクトルではグラフェンのメインピークであるGバンド部分と2Dバンド部分にピークを検出できた。グラフェンのさらに内部箇所を走査している間もグラフェンピークは検出され続けていたが、グラフェンが高速AFM観察箇所から外れると、グラフェンのラマンピークも同時に検出されなくなった。この結果から、高速AFMの観察範囲内に存在する試料のラマンピークを取得していることを確認できた。

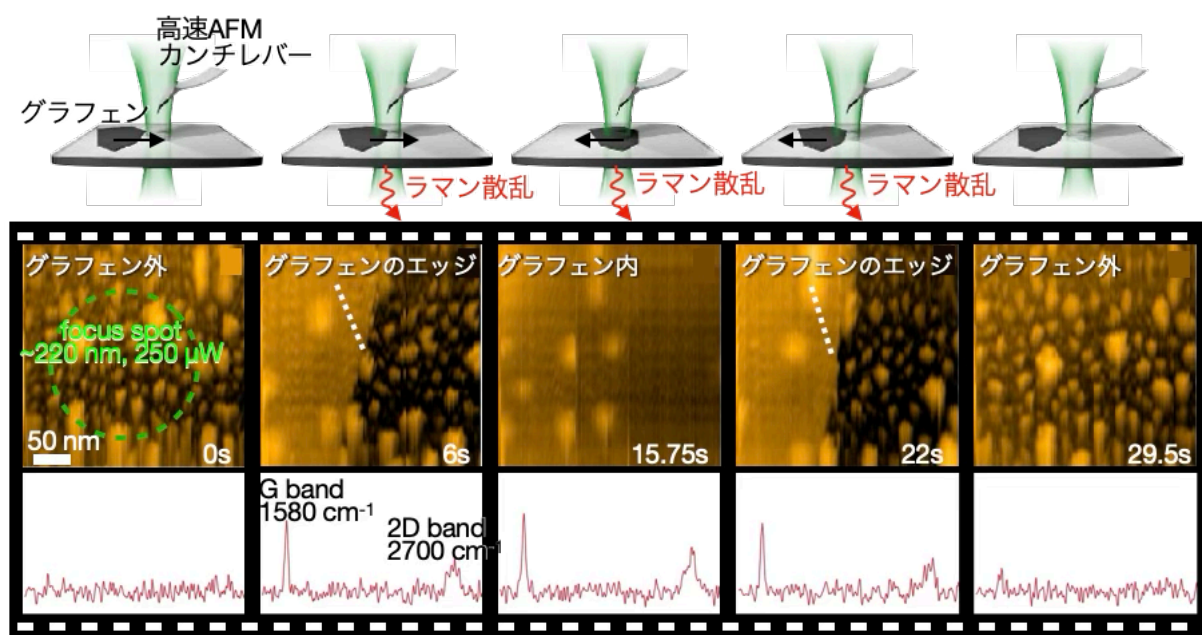


図3: グラフェンの高速AFM/ラマンマルチモーダル計測

4. まとめ

本研究では、高速AFM/ラマンマルチモーダル計測装置を開発し、本装置を用いたグラフェンの高速AFM/ラマンマルチモーダル計測に成功した。高速AFM観察箇所をレーザー集光位置を精密に調整し、高速AFM観察に対応するラマンスペクトルを取得できることを確認できた。今後は、本装置を用いた生体試料計測に注力していきたい。本装置を用いて生体分子の構造変化/化学結合変化を同時計測することで、生体分子ダイナミクスの解明への貢献が期待できる。

参考文献

- [1] T.Ando et al., *Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A.*, **98**, 12468 (2001).
- [2] K.Yang et al., *Nano Letters*, **24**, 2805 (2024).
- [3] S.Fukuda et al., *Rev. Sci. Instrum.*, **84**, 073706 (2013).