

## グラフェンの解析ツールとしての AFM

キーワード：2D 材料, グラフェン h-BN グローブボックス

### グラフェンとは？

グラフェンは、2D 材料の中で最も有名なもので、六角形の格子で共有結合した炭素原子が一層に並んだものです。このナノ材料は非常に強度が高く、既知の中で最も高い熱伝導性と電気伝導性を持っています。2010 年には、アンドレ・ガイムとコンスタンチン・ノボセロフの研究が評価され、ノーベル物理学賞を受賞しました。

グラフェン以外にも、2D 材料は多数研究されています。例えば、黒リンの単層であるフォスフォレンは、トランジスタ材料として有望です。また、シリセン（シリコン）、ゲルマネン（ゲルマニウム）、スタニン（スズ）なども、グラフェンのような六角形の構造を持ち、さまざまな程度のひずみを示します。六方晶窒化ホウ素 (h-BN) もグラフェンと同様の構造を持ちますが、炭素原子をホウ素と窒素に置き換えています。さらに、別の人気のある 2D 材料のクラスとして、遷移金属ダイカルコゲニド ( $MX_2$ ) が挙げられます。M はタングステンやモリブデンなどの遷移金属、X は硫黄、セレン、テルルなどのカルコゲンです。

最近では、グラフェンを他の 2D 材料と積層することへの関心が高まっています。角度や格子の不一致によって、積層した材料の電氣的性質が変化することが示されています。これにより、新しいデバイスを作成するためのアプローチが広がり、2D 材料を複数層積層してその性質を調整することが可能になります。しかし、堆積後に緩和プロセスが起こるため、層間の角度の不一致を検証するための制御測定が必要です。

### なぜ AFM なのか？

AFM（原子間力顕微鏡）は、解像度の高さと多くのモードが利用できるため、ナノ材料を研究するための選択肢として選ばれています。AFM の卓越した x、y、z 方向の解像度は、原子スケールに近い現象の研究において非常に重要です。商用 AFM の解像度は、数ナノメートル以下から原子分解能まであり、垂直方向には 0.1 ナノメートル以下の解像度が得られます。これにより、AFM は数オングストローム

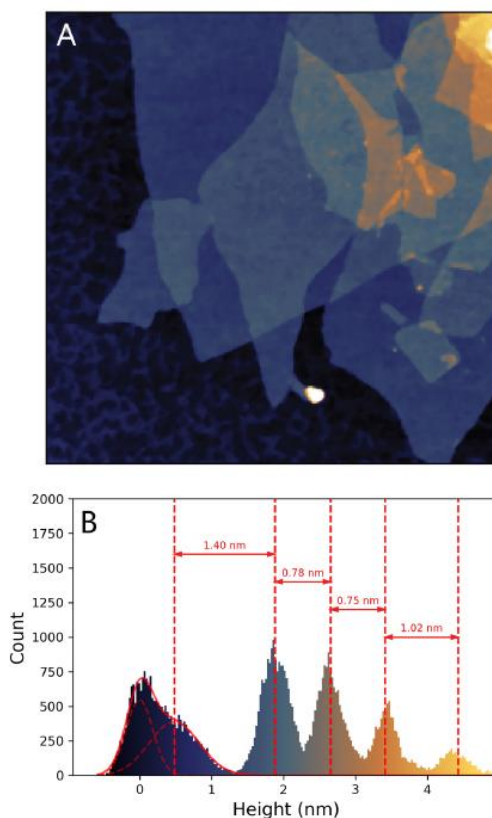


図 1 多層グラフェンの厚さ測定。

(A) グラフェン酸化物の AFM トポグラフィ画像 (横寸法:  $5.11 \times 5.11 \mu\text{m}^2$ )。 (B) (A) における高さのヒストグラムで、最初の 4 層の厚さを示している。 Sample courtesy: Nanotech Energy, USA