

実験概要

Metro カメラ

タイトル

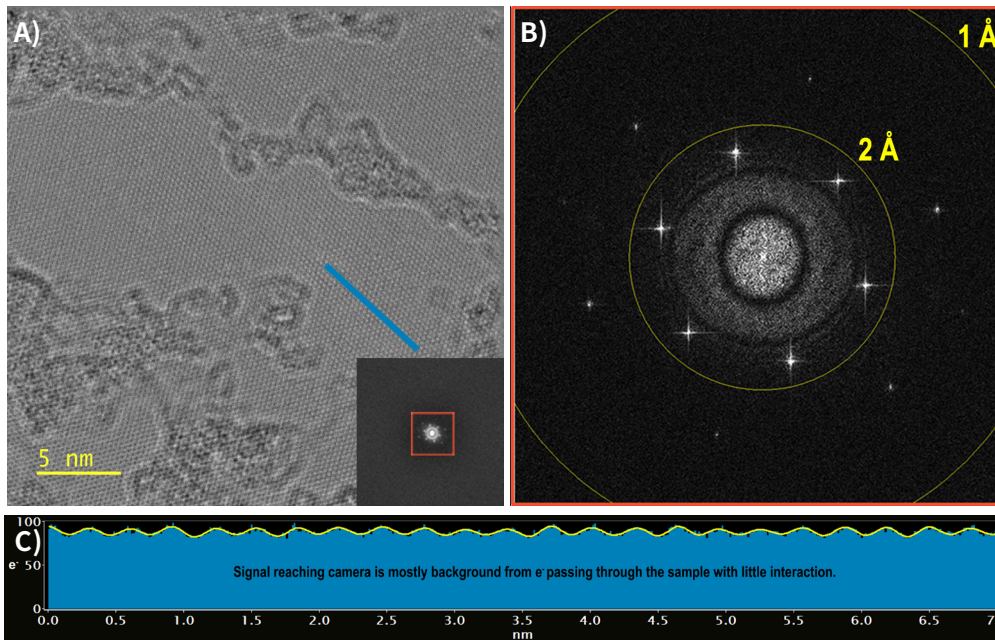
Metroカメラを用いた二次元材料の低加速電圧観察

Gatan 社使用装置

低加速電圧における低電子線照射量観察と電子線回折測定をMetro™カメラがシンプルなユーザーインターフェイスを通じて実現します。

研究の背景

MoS₂ のような二次元材料は、その独特で最適化可能な特性から広く研究されています。単原子レベルの原子空孔からナノメートルサイズのポイドまで、二次元材料中の欠陥に関する研究がDNA配列の決定、タンパク質のセンシング、脱塩水、イオン輸送などに関するさまざまな基礎的な研究や応用を発展させました。高分解能でこれらの材料中の欠陥を観察することで、実環境における独特な特性の由来の知見が得られ実際の応用のためにこれらの欠陥を設計することが可能となります。



材料と測定手法

MoS₂ はシリコン/酸化シリコン基板上に化学気相成長(CVD)法により成長させ、ポリマーウェット転写法によって銅製のTEMグリッド上に採取しました。電子顕微鏡はコールド型電界放射銃を備えた日本電子製JEM-F200を使用し、加速電圧80 kVでデータ取得を行いました。露光時間2.5秒、照射電子線密度2150 e⁻/Å²/sでMetroカメラを用いて像を取得しています(図1)。試料からの信号強度は背景の均一な信号強度に対して20%未満であり、像へのコントラストの寄与分は僅か360 e⁻/Å²/sです(図1C)。データ取得中にライブドリフト補正を行っており、一枚の像への積算前に約100枚の像のドリフト量が測定されています。

図1. A) ライブドリフト補正機能を用いてMetroカメラで取得したMoS₂のTEM像。上端および右端の像のコントラストが弱くなっているのは、この領域では約100枚のドリフト補正後の像の一部の情報のみが寄与しているためです。挿入図は像全体から得られたFFTを示します。B) FFT中の中央拡大図。二つの面間隔に相当するスポットが明瞭に観察されています。C) 図A中に示す箇所から得られた信号強度ラインプロファイル。平坦なバックグラウンドに重畳した二次元材料から得られた僅かな信号強度(<20%)を示しています。強度プロファイルは10ピクセル幅の強度で平均化しており、黄色の線はバンドパスフィルタ後の像から得られた同じ箇所からのプロファイルを示しています。

まとめ

Metroを用いて二次元構造へのダメージを最小化すべく低加速電圧で観察を行いました。Metroカメラは電子それぞれをひとつずつ計測するため、カメラの電気系に起因するあらゆるバックグラウンドノイズを排除することが可能です。これは二次元材料の観察において非常に重要であり、多くの電子が相互作用することなく試料を透過してしまい像の有効なコントラストが得られず、少なすぎる電子で生成される像はショットノイズによって左右されてしまうためです。これは電子顕微鏡のひとつひとつの電子が検出可能な理想的なカメラであっても、十分なシグナルノイズ比を有する像を得るためには非常に多くの電子が必要になることを意味しています。この測定では約8の1平方オングストローム当たりの適切なシグナルノイズ比が達成されており、最小限の照射電子線量で有用な像が得られています。

謝辞

A special thanks to The University of Pennsylvania, including Rachael Keneipp, Parisa Yasini, and Marija Drndic. All work was done at the Singh Center for Nanotechnology at the University of Pennsylvania. The Singh Center is supported by the NSF Grant No. NNCI-1542153. M. D. and R. K. acknowledge the use of AC-STEM instrumentation supported by the NSF through the University of Pennsylvania Materials Research Science and Engineering Center (MRSEC) DMR-1720530.

Gatan社は、試料作製から像観察や分析までの電子顕微鏡の能力を拡げる装置とソフトウェアの世界トップレベルのメーカーです。

