

C-FEGを有した収差補正透過電子顕微鏡によるZ方向分解能向上



橋口 裕樹、佐川隆亮、奥西栄治、遠藤徳明、近藤行人

日本電子株式会社 EMBU EMアプリケーション部

はじめに

近年、収差補正器の発達により、STEMにおける空間分解能は劇的に向上し、その結果、原子分解能での像観察だけでなく分析も可能になっている。しかし、我々が得られるSTEM像は3次元の試料に対して投影された2次元の情報である。従って、平面方向の空間分解能だけでなく、深さ方向の空間分解能も向上させる必要がある。本発表では、種々の収束角でスルーフォーカス像を取得し、得られた結果からZ方向の分解能の評価および、さらなる分解能向上方法を議論した。

Z分解能評価方法

単層grapheneを用いて、スルーフォーカスのSTEM像を取得

それぞれの画像の各ピクセルの強度の標準偏差を計算

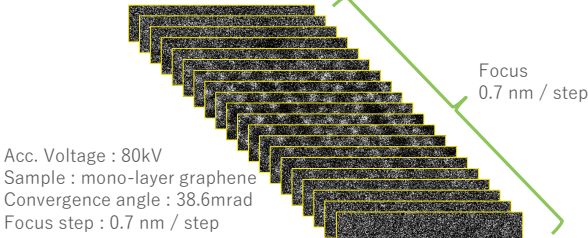
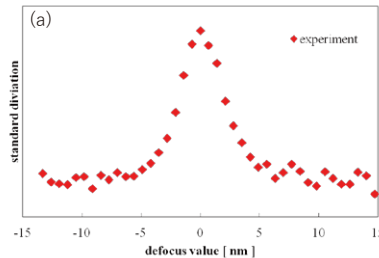


Fig.1 スルーフォーカスで得られた単層grapheneのSTEM像

Defocus量に対して、標準偏差の値をプロット



Gauss関数でフィッティング(最小二乗法)

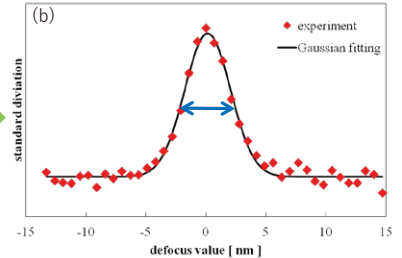


Fig.2 (a) defocus量に対して、標準偏差の値をプロットしたヒストグラム (b) Gauss関数でフィッティングした標準偏差のヒストグラム

半値幅をZ方向分解能とする

収束角依存性Z分解能

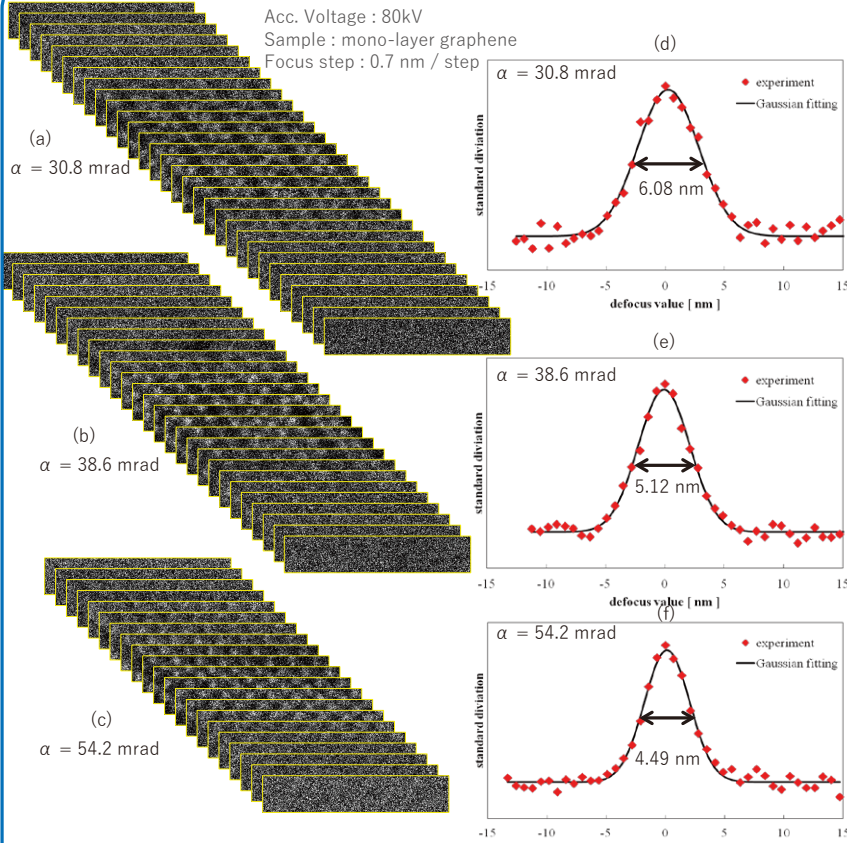


Fig.3 異なる収束角で取得したスルーフォーカスSTEM像(a) $\alpha = 30.8$ mrad、(b) $\alpha = 38.6$ mrad、(c) $\alpha = 54.2$ mradと、フィッティングにより得られたZ方向分解能(d)、(e)、(f)

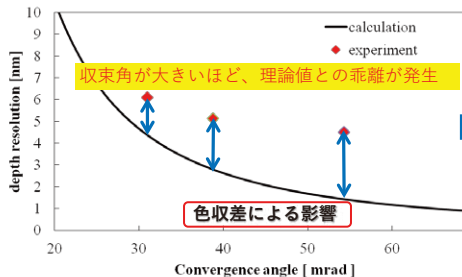
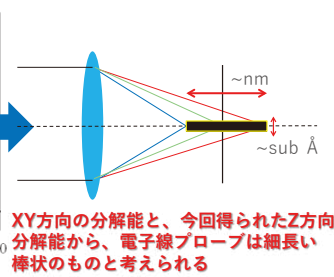


Fig.4 実験値と計算値のZ方向分解能比較



ΔE 依存性Z分解能

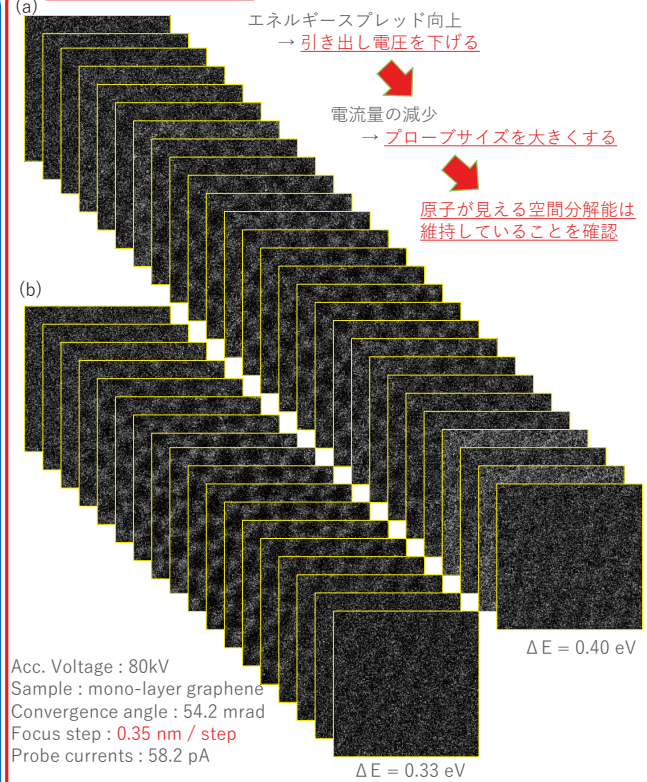


Fig.5 (a) $\Delta E = 0.4$ eV、(b) $\Delta E = 0.5$ eVで取得したスルーフォーカスSTEM像

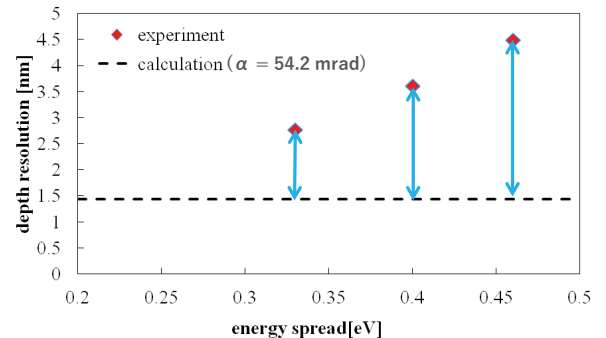


Fig.6 実験値と計算値のZ方向分解能比較

収束角が54.2mrad、 ΔE が0.33eVの条件で、3nm以下のZ方向分解能を得た

まとめ

今回我々は、引き出し電圧を下げて ΔE を小さくさせることでZ方向の分解能が向上することを示した。近年では、単一材料ではなく様々な原子を置換させた複合材料を対象に、透過電子顕微鏡でZ方向のスルーフォーカスSTEM像を用いた置換原子の直接観察が試みられている。我々は本手法が、それらの手助けになることを期待している。