

電子ベッセルビームをもちいた ADF-STEM における焦点深度拡大

Focal depth extension in ADF-STEM using an electron Bessel beam

名大未来研¹, JFCC² ○石田 高史¹, 大塚 真弘¹, 桑原 真人¹, 齋藤 晃¹, 川崎 忠寛²

IMaSS, Nagoya Univ.¹, JFCC², °Takafumi Ishida¹, Masahiro Ohtsuka¹, Makoto Kuwahara¹, Koh

Saitoh¹, Tadahiro Kawasaki²

E-mail: ishida@imass.nagoya-u.ac.jp

走査透過電子顕微鏡 (STEM) に代表されるプローブ形成型電子光学系においてプローブ径および焦点深度はその収束角に依存し、一般に像の分解能を高めると焦点深度は浅くなる。このため電子線トモグラフィによる原子分解能観察においては観察試料の厚さや形状が制限されることになる。この制限を超えるためには高い分解能と深い焦点深度の両立が可能な電子ベッセルビーム^[1]を用いることが有効である。電子ベッセルビームはリング状絞り^[2]、磁性体^[3]などの様々な方法でその生成に成功しているが、プローブ径は大きく原子カラムを観察できるまでの分解能には至っていない。一方、我々のグループでは信号量を十分に得られるだけのスリット幅をもつリング状絞りと収差補正走査透過電子顕微鏡 (AC-STEM) を組み合わせて電子ベッセルビームを生成し、本ビームをもちいて原子分解能像の取得に成功した^[4]。本発表では電子ベッセルビームをもちいて取得した原子分解能像において焦点深度拡大効果を評価した結果を報告する。

図 1(a)にリング状絞りを搭載した AC-STEM (JEOL: JEM2100F) でスルーフォーカスにより取得した正焦点付近の環状暗視野 (ADF) STEM 像を示す。試料は SrTiO₃ 単結晶であり、[001]入射で観察した。加速電圧は 200 kV、リング状絞りの収束半角は 13.5-16.4 mrad である。図 1(a)に示すように電子ベッセルビームをもちいても Sr カラムと Ti-O カラムが観察されており、通常の絞りをを用いた場合と同様な ADF-STEM 像を取得できることがわかる。ADF-STEM 像は FFT (図 1(b)) 後に z 方向にキューブ化 (図 1(c)) し、各面間隔に対応するスポットの z 方向の強度プロファイルを用いてガウシアンでフィッティングすることで焦点深度 (FWHM) を求めた。その結果、電子ベッセルビームをもちいた場合の焦点深度は約 51 nm となり理論値と良い一致を示した。このように原子分解能像においても電子ベッセルビームの焦点深度拡大効果が確認された。

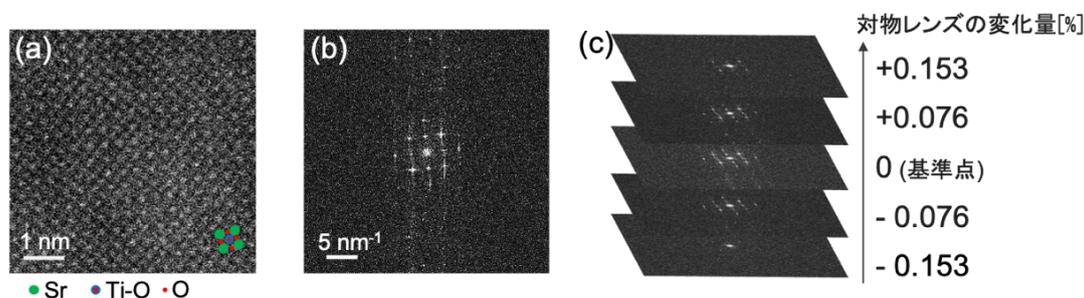


図 1 (a)リング状絞りをもちいて撮影された SrTiO₃ の ADF-STEM 像(基準点)、(b)(a)の FFT パターン、(c)スルーフォーカス FFT パターンのデータキューブ化の一例 (対物レンズの変化量 0.1%がデフォーカス量~23.9 nm の変化に対応する)

[1] T Kawasaki et al., Ultramicrosc.110 (2010) 1332-1337

[3] C Zheng et al., Phys. Rev. Lett. 119 (2017) 174801

[2] K Saitoh et al., J. Phys. Soc. Jpn. 85 (2016) 04501

[4] T Ishida et al., Microscopy and Microanalysis 2019 Meeting