環状明視野位相法による像コントラストの信号対雑音比の改善

Improvement of the signal-to-noise ratio of images obtained by annular bright-field phase STEM

°石田 高史 [1]，川﨑 忠寛 [2, 3, 4]，丹司 敬義 [2,4]，生田 孝 [5]

(1.名大院工，2.名大エコ，3.JFCC，4.GREEN， 5.大阪電通大)

°Takafumi Ishida[1], Tadahiro Kawasaki[2, 3, 4], Takayoshi Tanji[2, 4], Takashi Ikuta[5]

(1.Nagoya Univ., 2. Nagoya Univ. EcoTopia Sci. Inst., 3.JFCC, 4.GREEN, 5. Osaka electro-comm. Univ.)

E-mail: takafu_i@nuee.nagoya-u.ac.jp

走査透過電子顕微鏡（STEM）を用いて，試料透過後の電子波の位相を回復する手法として環状明視野位相(Annular Bright-Field Phase； ABFP)法を開発している[1]．ABFP 法では，円環状の対物絞りにより試料面上にホロコーンプローブを作り，試料下方に円環状に配置した多数の検出器で複数枚の像を取得する．そして，それらに画像処理を行うことにより試料下面波動場を再生する手法である．本手法の画像処理では，フーリエ空間で特別なバンドパスフィルターを用いるために像質の改善が見込まれる．そこで本研究では，ショット雑音（電子が検出器に様々な時間間隔で到着するために起こる雑音）を考慮し，ABFP 法による再生像の信号対雑音（S/N）比について評価した．

図 1 に，ショット雑音を含む像の S/N 比のイメージ・シミュレーションによる定量評価結果を示す．モデル試料として，試料厚さ約 6 nm のチタン酸ストロンチウム($SrTiO_3$ [001])を用いた．計算条件は，入射電子プローブのエネルギーを 200 keV，入射角と検出角を共に 15.4－20 mrad とした．また，検出器は円環状に 24 個配置した．これにより 24 枚の STEM 像が得られる．そこにそれぞれ無作為に作製した雑音分布を乗算した．図 1(a)は 1 ピクセルあたり平均して 144 個の電子で形成される雑音分布の一例である．雑音を含む 24 枚の STEM 像を積算したのが図 1(b)である．これは既存の環状明視野（ABF）像に相当するものだが，雑音の影響により酸素カラムが不鮮明になっている．一方で，図 1(c)に示すように，雑音を含む 24 枚像から ABFP 法により再生した位相像は，どの原子カラムも鮮明に表していることが分かる．定量的な評価を行うために，像コントラストの標準偏差(Signal), 雑音の標準偏差(Noise)の比から S/N 比を求めた結果, 強度像(図 1(b))で約 5.3，再生した位相像(図 1(c))では約 79.3 となり，本手法の位相再生によりコントラストが増加し, フィルタリングによりノイズが低下することで S/N 比が約 15 倍も改善されていることが分かった．本手法では，フィルタリングにより分解能を低下させず S/N 比を増加させることができるので，通常の強度像の観察よりも低いドーズ量での観察が可能であることがわかった．

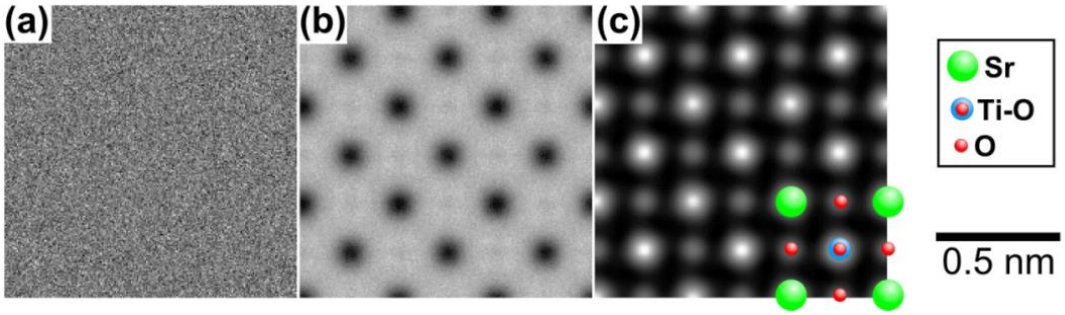

図 1 雑音の影響を加えたシミュレーション結果：(a) 雑音のみの像,
(b) 雑音を含む 24 の像の和（強度像），(c) 雑音を含む ABFP 法により再生した位相像.

参考文献 ：

[1] T. Ishida, T. Kawasaki, T. Tanji, T. Kodama, T. Matsutani, K. Ogai, et al., Phase reconstruction in annular bright-field scanning transmission electron microscopy, Microscopy. (in press) dio: 10.1093/jmicro/dfu098

© 2015年 応用物理学会