

電子線トモグラフィー傾斜シリーズ画像の 非線形 Total Variation に基づく雑音除去の検討

The effect of non-linear total variation based denoising
on TEM electron tomography tilt-series images

大阪大学大学院情報科学研究科 ○御堂義博, 中前幸治

Gra. Sch. Information Science and Technology, Osaka Univ., ○Yoshihiro Midoh, Koji Nakamae

E-mail: midoh@ist.osaka-u.ac.jp

生命科学における形態観察や半導体の計測技術として、電子顕微鏡を用いた電子線トモグラフィーが活用されている^[1]。電子線トモグラフィーではまず、試料傾斜角度を変えて傾斜シリーズ画像を撮影する。次に、傾斜シリーズ画像間を位置合わせ(アライメント)した後、逆ラドン変換の原理に基づいて 3 次元再構成像を得る。我々は試料作製・観察の効率化のために、金粒子等の人工的マーカーを塗布せずに撮影した傾斜シリーズ画像に対するマーカーフリーアライメント(特徴点追跡)法、さらに、得られた 3 次元再構成像から輪郭抽出により構造を可視化するソフトを開発してきた^{[2][3][4]}。構造を正確に計測するためには 3 次元再構成像の更なる画質改善が求められる。

そこで我々は、電子線トモグラフィー傾斜シリーズ画像に対して、非線形 Total variation に基づく雑音除去の効果を検討する。TEM(透過電子顕微鏡)像に含まれる雑音はポアソン分布に従うことが知られている^[1]。Rudin らによって提案された Total variation denoising^[5] はガウス雑音に対して高い雑音低減効果があることが報告されており、我々はこれをポアソン雑音へと拡張した。

図 1 に示した LSI 配線構造を撮影した傾斜シリーズ画像 (-60 度~+60 度まで 1 度刻み、マーカーなし)に対して雑音除去法の評価を行った。IMOD^[6]を用いて、3 種のデータ【(1)傾斜像シリーズ】、【(2)(1)の各像にメディアンフィルタ(X 線雑音除去のため)】、【(3)(2)の各像に提案する雑音低減法を適用】、に対してそれぞれ Fiducialless alignment、Weighted back projection により再構成像を得た。図 2(a), (b), (c)はそれぞれデータ(1), (2), (3)から得られた再構成像から、同じ配線構造の断面を一部拡大した図を示す。雑音低減によって再構成像の画質が改善されていることがわかる。

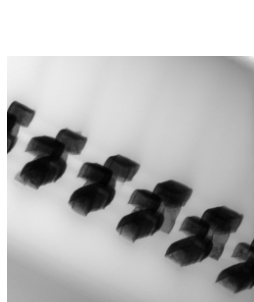
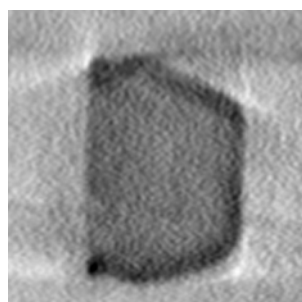
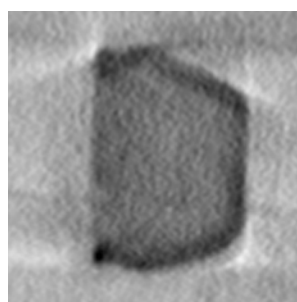


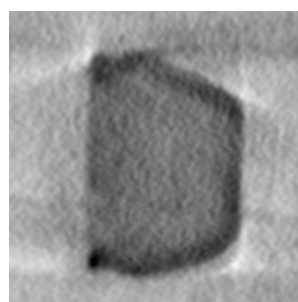
Fig.1 An example of TEM tilt-series.



(a) original tilt-series



(b) median filtering



(c) total variation denoising

Fig.2. 3D reconstruction data from three data sets (enlarged view).

謝辞: 本研究は、独立行政法人科学技術振興機構 研究成果展開事業(先端計測分析技術・機器開発プログラム)「トモグラフィー電子顕微鏡用ソフトウェアの活用・普及促進」課題の一部として行われた。本研究を行うにあたり試料をご提供頂きました次世代半導体材料技術研究組合 玉置洋一様、試料加工にご協力頂きました阪大大学院情報科学研究科 工藤修一様、TEM 像撮影にご協力頂きました阪大超高圧電子顕微鏡センター 森博太郎先生、鷹岡昭夫先生、西竜治先生に心より感謝の意を表します。

参考文献:

- [1] J. Frank, *Electron Tomography: Methods for Three-Dimensional Visualization of Structures in the Cell* (2nd Ed.), Springer (2006).
- [2] 御堂義博, 中前幸治, “電子線トモグラフィーマーカーフリーアライメント評価用データの検討”, *LSITS2012 会議録*, pp. A31-36 (2012).
- [3] 御堂義博, 中前幸治, “電子線トモグラフィーにおけるアライメント手法の定量的評価”, 第 60 回応用物理学会学術講演会, 30a-B1-1 (2013).
- [4] 御堂義博, 西 竜治, メディヌリシラジ, 鎌倉快之, 井上雄紀, 三浦順一郎, 鷹岡昭夫, 中前幸治, “トモグラフィー電子顕微鏡用ソフトウェア HawkC の紹介”, 日本顕微鏡学会第 69 回学術講演会 (2013).
- [5] L. I. Rudin, S. Osher, and E. Fatemi, “Nonlinear total variation based noise removal algorithms,” *Physica D*, 60, pp. 259-268 (1992).
- [6] IMOD: [http:// bio3d.colorado.edu/imod/](http://bio3d.colorado.edu/imod/)