

高繰り返しレーザーによる超高速時間分解 SEM の高分解能化

Improving the spatial resolution of a scanning ultrafast electron microscopy using high repetition laser

筑波大数理¹, 三浦 研介¹, 岡本 ニコライ岳¹, 吉田 昭二¹, 藤田 淳一¹, 嵐田 雄介¹
Univ. of Tsukuba¹, Kensuke Miura¹, Nikolai Gaku Okamoto¹, Shoji Yoshida¹, Jun-ichi Fujita¹,
Yusuke Arashida¹

E-mail: arashida.yusuke.kb@u.tsukuba.ac.jp

近年、半導体デバイスの微細化による高速化が進む一方で微視的な影響を強く受け性能評価に限界を迎えつつある。そこで本研究では高速電子デバイスの動作を直接的に理解する新たな手法として、走査型電子顕微鏡 (SEM) とフェムト秒レーザーを組み合わせた走査型超高速電子顕微鏡 (SUEM) の開発を行っている [1]。SUEM では光励起パルスと、レーザーを電子銃に照射して発生させた光電子パルスによるポンププローブ法を用いることでデバイス電極の高速電位変化を可視化して観測することが出来る。明瞭な画像の取得には電子線の平均電流量 10 pA 程度必要である。使用していたレーザー光源の繰返し周波数は 200 kHz と低く、平均電流量 10 pA を確保するとピーク電流は 12 μ A、1 パルスに含まれる電子数は 3000 個と多くなった。その結果、空間電荷効果によって電子パルス束が広がり空間分解能が約 880 nm に劣化する課題があった。そこで光源を高繰返しレーザーに置き換えることで平均電流量を保ちつつ 1 パルス当たりの電子数を減少させた。

高繰返しレーザーには波長 1030 nm, パルス幅 96 fs, 繰返し 76 MHz, 周期 13 ns、パワー 900 mW のものを用いた。電子銃には波長変換したパワー 150 mW の 4 倍波 (257 nm) を照射しており、平均電流量 10 pA を確保しつつ 1 パルス当たりの電子数は約 0.8 個へと減らすことができた。Figure 1a 及び 1b に低繰返しレーザー及び高繰返しレーザーを用いた場合の段差構造の SEM 像をそれぞれ示す。断面形状の段差の立ち上がりを解析したところ、空間分解能は 880 nm から 92 nm と大幅な向上に成功した。このように SUEM の高分解能化には 10^2 MHz 程度の高繰返しレーザーが有用であることが分かった。

[1] Y. Arashida et al., ACS Photonics 11, 2171 (2024).

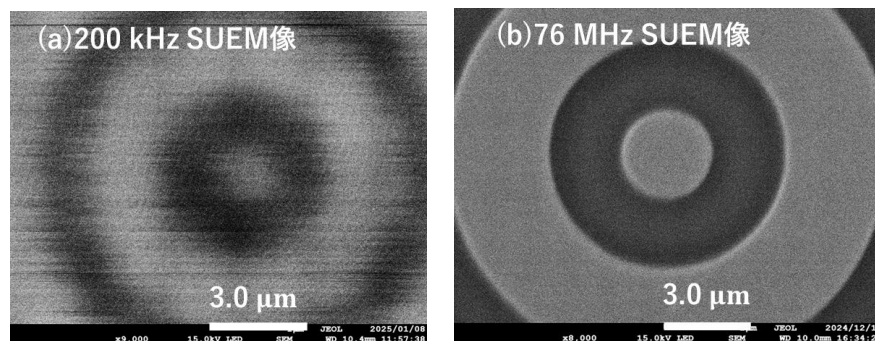


Fig. 1, SUEM images of a stepped structure using (a) low- and (b) high-repetition lasers.