

高分解能観察用の電子顕微鏡には広く冷陰極電界放出 (Cold Field Emission: CFE) 電子源が搭載されている。CFE 電子源が放出する電子線は輝度が高く、エネルギー幅が狭い特徴があり、高分解能観察に適した電子源といえる。しかし、課題として放出電流が時間とともに減衰することがある。

CFE 電子源はタングステン<310>単結晶の針で作り、その先端曲率半径は 100 nm 程度に先鋭化する。真空排気した電子銃内に電子源を置いて電圧を印加すると、先端に電界が集中して生じるトンネル効果で電子線が放出する。電子顕微鏡は、この電子線を加減速した後にレンズで集束して試料に照射し、二次電子や透過電子を検出することで観察像を得る。電子源の表面には時間とともに真空中の残留ガスが吸着するために仕事関数が増加する。この結果、トンネル効果で放出する電子が減り、電流が減衰することになる。

CFE 電子源の放出電流を安定化する方法として、電子銃内の真空度を従来の超高真空から極高真空に向上することで残留ガスの吸着頻度を低下させることが考えられる。講演者はこれまでに非蒸発ゲッター (Non-Evaporable Getter: NEG) ポンプを新たに電子銃に搭載することで、その圧力を従来の  $1 \times 10^{-8}$  Pa から  $4 \times 10^{-10}$  Pa まで低減した[1, 2]。この結果、放出電流の減衰時間 (初期値の 90%になる時間) を従来の 7 分から 1280 分まで延長し、20 時間程度であれば、ほぼ一定の電流を得ることができるようになった (Fig. 1)。その他の極高真空化したことによる利点として、従来必要であった (1) 電流が安定するまでの待ち時間や、(2) 電流補償のための動作電圧の調整といった手間が不要になった。さらに、(3) 観察像のちらつきの低減 (吸着ガスの表面拡散に起因した電流ノイズの低減) や、(4) 放出電流の大電流化 (電子源へのイオン衝突の低減) といった効果が得られた。また、放出電流の減衰に影響を与えるガス種を調べた結果、水素よりも一酸化炭素が電流を早く減衰させることがわかった。

講演者は本技術を適用して 1.2 MV 原子分解能ホログラフィー電子顕微鏡の CFE 電子銃を開発した[3, 4] (Fig. 2)。この電子銃は三台の NEG ポンプを備えた差動排気構造をもち、圧力は  $3 \times 10^{-10}$  Pa となった。本電子顕微鏡は 2015 年に 43 pm のインフォメーションリミットと 44 pm の Ga 原子カラムのダンベル構造を観察し [5]、2018 年には  $3 \times 10^{14}$  A/m<sup>2</sup>sr の電子線の輝度を測定した[6]。

## 参考文献

- 1) K. Kasuya, S. Katagiri, T. Ohshima, and S. Kokubo, J. Vac. Sci. Technol., B 28, L55 (2010).
- 2) K. Kasuya, S. Katagiri, and T. Ohshima, J. Vac. Sci. Technol., B 34, 042202 (2016).
- 3) K. Kasuya, T. Kawasaki, N. Moriya, M. Arai, and T. Furutsu, J. Vac. Sci. Technol., B 32, 031802 (2014).
- 4) 内閣府最先端研究開発支援プログラムの助成により開発
- 5) T. Akashi et al., Appl. Phys. Lett. 106, 074101 (2015).
- 6) T. Akashi et al., Microscopy, 67, 286 (2018).

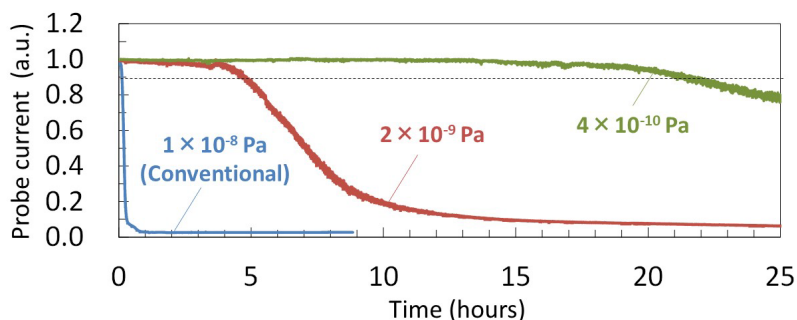


Fig. 1. Measured dependence of current variation on the pressure around the electron gun. The current decay was slowed down by the pressure reduction.

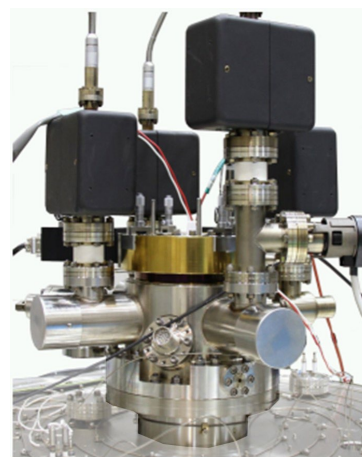


Fig. 2. Developed cold field emission gun for 1.2 MV holography transmission electron microscope.