

光陰極電子源を用いた 100kV パルス透過電子顕微鏡による時間分解計測 Time-resolved measurement conducted by a newly developed 100-kV pulsed TEM using a photocathode-type electron source

名大未来研¹, 名大院工², 日立製作所³, 日立ハイテク³ ○桑原 真人^{1,2}, 水野 りら²,
中蔵 虎二郎², 古井 雅人², 森下 英郎^{2,3}, 石田 高史^{1,2}, 長沖 功⁴, 揚村 寿英⁴
Nagoya Univ.¹, Hitachi², Hitachi High-Tech⁴, ○Makoto Kuwahara¹, Lira Mizuno¹, Kojiro Nakakura¹,
Masato Furui¹, Hideo Morishita^{1,2}, Isao Nagaoki³, Toshihide Agemura³, Takafumi Ishida¹
E-mail: kuwahara@imass.nagoya-u.ac.jp

透過電子顕微鏡における時間分解能は、カメラの高感度化と撮像速度の向上、高速電子線偏向器など種々の高度化によりマイクロ秒を超えつつある。我々はこれら先端研究を踏まえつつ、レーザー駆動型の半導体光陰極電子源を用いた時間分解計測手法により、透過電子顕微鏡の時間分解能の向上を試みている。この光陰極は NEA 表面を有する特殊な平面型の電子源(NEA-PC)であり、電子線のスピンと時間を同時に制御した透過電子顕微鏡実験が可能となる。

これまでに NEA-PC を電子源とする 30 kV スピン偏極パルス透過電子顕微鏡の開発に成功し、時空間におけるコヒーレンス長が長く、また単色性に優れたパルス電子線発生を実現してきた。またスピン偏極パルス電子線を応用した電子の量子干渉実験に初めて成功した[1-3]。

しかしながら、加速電圧の低さによる低い透過能、空間電荷効果による輝度の制限、外乱に対する弱さ、商用 TEM の利便性の欠如があった。そこで、これらの問題を解決すべく、LaB₆熱電子銃搭載の 100kV 透過電子顕微鏡をベースに、電子銃を NEA-PC を用いた 100kV パルス電子源に組み替えることで加速電圧の向上を実現した。この電子銃は 1 段加速型の電子銃であり、5 MV/m 程度の比較的高い加速電場を実現しており、空間電荷効果抑制による高い電荷密度のパルス電子線発生が可能となる。実際に金ナノ粒子を用いて、TEM 像、回折図形、エネルギー損失分光(EELS)などの取得が実現された。また電子線ホログラム取得により、これまで装置安定性により 5 秒程度に制限されていた露光時間は、120 秒以上の露光を行なっても干渉縞観察に影響がないことが確認された。また、ポンププローブ実験用光学系と光陰極型電子銃の組み合わせにより、ピコ秒時間分解 EELS 実験を実現した。

本講演では、パルス電子発生と透過電子顕微鏡に求められる性能を鑑みながら、新規開発した 100kV 時間分解透過電子顕微鏡とそれを用いた時間分解電子エネルギー損失分光結果について報告する。

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(A) (21H04637)、特別推進研究(18H05208)により推進している。

[1] M. Kuwahara et al., Appl. Phys. Lett. **105**, 193101 (2014)

[2] S. Kuwahara et al., ACS Appl. Nano Mater. **3**, 5172 (2020)

[3] M. Kuwahara et al., Phys. Rev. Lett. **126**, 125501 (2021)