

半導体光陰極を用いた次世代透過電子顕微鏡の開発

Novel transmission electron microscope using a semiconductor photocathode

名大未来研¹, 名大工² ○桑原 真人^{1,2}, 青木 幸太², 鈴木 潤士², 宇治原 徹^{1,2}, 齋藤 晃^{1,2},
田中 信夫¹

Nagoya Univ.¹, ○Makoto Kuwahara¹, Hiroshi Suzuki¹, Toru Ujihara¹, Koh Saitoh¹, Nobuo Tanaka¹

E-mail: kuwahara@imass.nagoya-u.ac.jp

我々は負の電子親和性 (NEA) 表面を有する半導体光陰極を電子源に採用することで、電子線のスピンと時間を制御した透過電子顕微鏡 (SP-TEM) の開発に成功した^[1]。これにより、スピン偏極電子線を透過電子顕微鏡で使用することが可能となった。NEA 半導体光陰極はレーザー駆動によるパルス電子線発生を容易に実現できることから、超高速時間分解測定への応用が期待される。既に SP-TEM ではピコ秒のパルス電子線発生を実現しており、さらに高い電荷量を持ったパルス電子線発生を実現することでシングルショットイメージングを実現し、それに伴う Boersch 効果が顕著に発現する領域での動作を確認するに至っている^[2]。

一方、その放出機構の特性からエネルギー分散幅が 0.12eV 程度の狭線幅を有していることを確認し、時間コヒーレンス長にして 34fs を実現していることを明らかにした^[3]。またスピン偏極度 82%、ソース電流 2.5mA において 3.8×10^7 A/cm² · sr @30keV の輝度であることを実測した。これは電子エネルギー200keV に換算すると 3.1×10^8 A/cm² · sr であり、ショットキー電子源に匹敵する値である。単色性と高輝度を同時に兼ね備えた NEA 半導体光陰極は、モノクロメータによる単色化に伴う輝度の低下を考慮する必要がない強力な電子源と言える。また、電子線バイプリズムにより生成した干渉縞から、その一次相関関数を計測することで試料面上にて 170nm 以上の可干渉長を有していること、その平行度は $(1.76 \pm 0.3) \times 10^{-5}$ rad であることを確認した。この結果から、電子放出面が平面である NEA 光陰極であっても高い空間干渉性を示すことを実証し、さらに光電子放出過程に従う一次相関関数の形を持つことが明らかとなった^[3]。この結果は、電子線波束が 4×10^{-6} の高い縮退度を有し、高い偏極度、高い輝度、長いコヒーレント長から量子干渉効果 (アンチバンチング) を増幅する効果が期待されるものである。これは、スピン依存の位相情報検出が可能であることを意味し、量子コヒーレンス測定について重要な内容を含んでおり、今後の電子顕微鏡の新たな展開を示している^[4]。

本研究は、科学研究費補助金・若手研究 (A) (25706031) および挑戦的萌芽研究 (15K13404) の助成により推進されている。

[1] M. Kuwahara, et al., Appl. Phys. Lett. **101**, 033102 (2012)

[2] N. Nambo, et al., AMTC Letters **4**, 262 (2014)

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

[4] M. P. Silverman, Phys. Lett. A **120**, 442 (1987)