

未来社会創造事業 探索加速型
「共通基盤」領域
年次報告書(探索研究)

H30 年度 研究開発年次報告

平成30年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名:桑原 真人]

[名古屋大学 未来材料・システム研究所・准教授]

[研究開発課題名:コヒーレント超短パルス電子線発生装置を活用した超時空間分解
電子顕微鏡]

実施期間 : 平成 30 年 11 月 15 日～平成 31 年 3 月 31 日

§ 1. 研究開発実施体制

(1)「名古屋大学」グループ(名古屋大学)

① 研究開発代表者:桑原 真人(名古屋大学 未来材料・システム研究所、准教授)

② 研究項目

- ・高密度パルス電子源の開発(設計・シミュレーション・実証)
- ・高精度同期パルスシステムの構築
- ・時間分解計測用ソフトウェアの検討

(2)「日立ハイテクノロジーズ」グループ(株式会社日立ハイテクノロジーズ)

① 主たる共同研究者:揚村 寿英(株式会社日立ハイテクノロジーズ ナノテクノロジーソリューション事業統括本部 評価解析システム製品本部、部長)

② 研究項目

- ・高密度パルス電子源用収差補正 TEM 光学設計
- ・インターフェイス開発の検討(装置インテグレーション)

§ 2. 研究開発実施の概要

高密度なコヒーレントパルス電子線発生を可能にする電子銃構造を実現するための基本構造設計を実施した。電界シミュレーションと3次元の空間電荷効果および遅延ポテンシャルを考慮した電子線軌道計算を組み合わせ、DC10MV/m@200kV の高い電場と背面照射型 NEA フォトカソード方式を同時に可能にするカソード・アノード電極形状を決定し、パルス電子の電荷量依存性についても検証を行った。この結果、最適な加速電場とカソード・アノード間を算出し、高いパルス輝度 $0.1\text{mC}/\text{cm}^2\text{sr}$ を実現する条件を見出した。計算結果を元に、200kV 印加用多段分割碍子構造、超高真空チャンバー、レンズステージの設計を進め、超高真空下で動作可能な基本構造を決定した。

一方、電子パルス列の高い時間安定性を実現するため、過飽和吸収ミラーをモードロッカーとしたファイバーレーザーを光源として採用した。NEA 半導体フォトカソードに適した中心波長 785nm が発振可能であり、周波数安定性、時間安定性のみならず、位置安定性が高い。これにより、電子源における仮想光源位置および電子パルス強度の安定性を確保した。周波数特性から、本レーザー自身のタイムジッターは 10fs 以下であることを確認している。これにより、システム全体としての目標時間安定性 2ps を大きく下回り、レーザーから誘発される時間不安定性要素を削減することが可能となった。

時間分解 TEM 像取得に適した試料の検討を進めた。まず、ブロッホ型スキルミオンを発現する磁性試料の観察を行い、発生条件を見出した。続いて、電子線に対してダメージを受けやすい試料として、銅フタロシアニン結晶、カタラーゼ結晶などを用いて実験を進め電子線損傷効果を観察した。これらに並行し、新型の 200kV フォトカソード電子銃に適した電子顕微鏡本体として、収差補正器搭載 TEM で且つ超高真空を電子源で実現している冷陰極型電子源を搭載した機種を選定した。超高真空を必須とする NEA 半導体電子源と親和性が高く、照射系の変更を最小限に抑えた電子光学設計を進めることが可能となる。