

〔短期在外研究〕

研 究 者	大阪大学 産業科学研究所 特任助教 岩清水 千咲	2256002
研 究 課 題 名	電子損失エネルギー分光法を用いた有機材料のナノスケール電子状態分析	
共同研究者／ 所 属、職 名	Odile Stéphan/Laboratoire de Physique des Solides, Professeur	
在 留 地 域	オルセー / フランス	
渡 航 期 間	2025 年 4 月 14 日～ 2025 年 6 月 14 日（62 日間）	

〔在外研究の目的・意義〕

エレクトロニクス分野の重要な役割を担う半導体研究は盛んに行われている。特に、有機半導体は人や生物由来のものとの親和性が高く、柔軟で軽量という利点がある。また、ナノスケールで構造を制御された半導体の評価には、(走査)透過型電子顕微鏡 (STEM) と電子損失エネルギー分光器 (EELS) を組み合わせた STEM-EELS 法が頻繁に利用される。ナノスケールで局所的なエネルギー分光が可能だからである。しかし、欠点の一つは観察試料へ与える電子線ダメージであり、有機物質の場合、この影響は非常に深刻である。本研究では、モノクロメータ搭載 EELS (図 1) を用いてエネルギー分解能向上と照射電子線量低減を同時に実現し、有機材料の、高エネルギー・高空間分解能、かつ、ダメージレスなエネルギー分析を目的とする。在外研究先は、世界最高レベルの高エネルギー分解能を誇るモノクロメータ搭載 STEM-EELS 装置を有する。国際会議などで以前から議論を交わしており、今回の共同研究に至った。具体的には、以下の二つの研究を行った。

1. 有機結晶試料の時間分解 EELS 測定
2. 1 次元ナノリボンのバンドギャップ測定

〔得られた成果・効果と今後の発展性〕

1. 有機結晶試料の時間分解 EELS 測定

最初に、比較的電子線ダメージに強い有機結晶を用いて高空間分解能電子状態解析を試みた。有機結

晶として、赤色針状結晶のテリレンジイミド (TDI) を用いた。従来は一般に、測定時の温度条件や加速電圧が結晶損傷に最も大きな影響を与えられと考えられてきたが、本研究では、むしろ照射電流量の方が大きく影響する事が分かった。電子線ダメージが TDI 中の価電子励起スペクトルの形状に与える影響を図 2 に示す。また、温度条件を室温と -120°C とで比較すると、ダメージ量に差異は少ないものの、価電子励起スペクトルの形状が大きく変化することも分かった。今後も共同実験を継続して追加実験と計算シミュレーションを行い、ダメージ過程を体系的に理解することを目指す。この成果は、今後 STEM-EELS 法がより広く一般に有機物質にも応用される際には重要な指針を示す結果になると期待する。

2. 1 次元ナノリボンのバンドギャップ測定

量子ドットと呼ばれる数 nm サイズの結晶は、その結晶サイズに依存して異なる発光特性を有する事は良く知られている。しかし、このサイズをエキシトンのボア半径よりも小さくしたときの発光特性は未知であった。高空間・エネルギー分解能 STEM-EELS を用いると、この解析は可能になる。既に一度大阪大学に設置されたモノクロメータ搭載 STEM-EELS 装置で測定していたが (図 3 四角)、在外研究室に設置されたより安定した高分解能装置を用いると、そのデータ点がレッドシフトした (図 3 黒丸)。

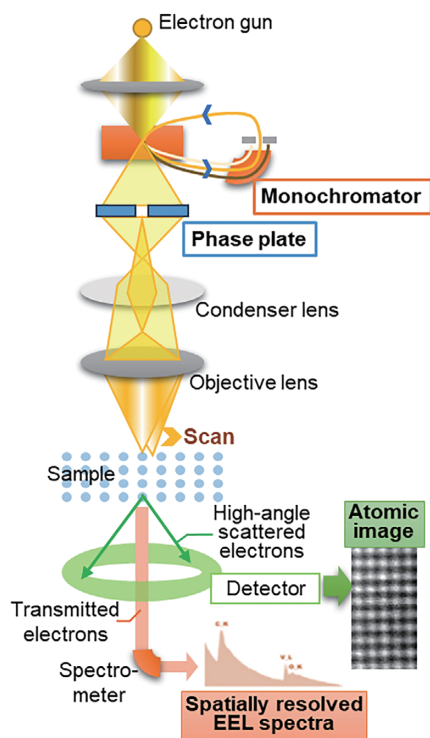


図 1 モノクロメータ搭載 STEM-EELS 装置概略図

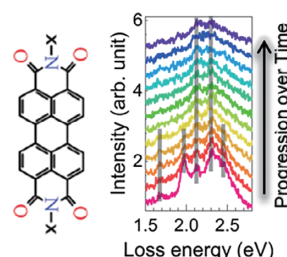


図 2 TDI の化学構造式 (左) と電子線ダメージによる EELS 変化

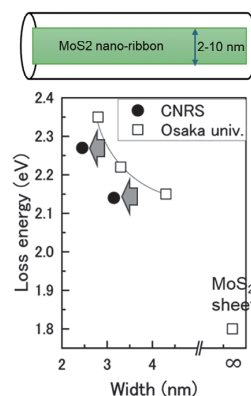


図 3 窒化ホウ素ナノチューブ内包二硫化モリブデンナノリボンの概要図 (上) と、リボン幅に依存したバンドギャップエネルギー変化 (下)