

# テラヘルツ光を用いた超短電子ビームの単色化

## THz-wave-driven production of narrow-energy ultrashort electron beams

理化学研究所 森本 裕也



高速現象の測定において、時間、空間やエネルギーの分解能は、観測できる過程を制限する重要なパラメータである。そして、既存の分解能を上回る装置や手法の開発は、新たな発見に繋がる。近年の電子ビーム技術の発展により、サブ・ピコ秒（1ピコ秒=10<sup>-12</sup>秒）の時間幅を持つ電子パルスを用いた、電子顕微鏡による高速現象の観測が盛んに行われるようになった。しかしながら、超短パルス電子ビームは、世界中の装置において、フーリエ変換限界を超えて不必要に幅広いエネルギースペクトルを有するという欠点がある。そこで、本研究では、光（テラヘルツ光）を用いたパルス電子ビームの単色化技術の開発を行うことを目標とした。

電子ビームの単色化には、これまで、プリズムを用いてエネルギーごとに空間的に分け、スリットで切り出すという手法が用いられてきた。本課題で開発を行った手法では、これとは本質的に異なる操作を行う。電子パルスを真空中で飛行させ、パルスの前側にはエネルギーの高い（つまり、高速の）電子、後ろ側にエネルギーの低い（低速の）電子が位置するようにし、テラヘルツ光によって、パルスの前側を減速し、後ろ側を加速することで、速度が揃った単色電子ビームが発生するという新しいアイデアに基づいている。本研究課題では、この新しい手法の開発のため、高分解能エネルギー分析器の設計・製作およびピコ秒パルステラヘルツ波の発生に主に取り組んだ。

我々が用いている運動エネルギーが数十 keV やそれ以上の電子ビームのエネルギー測定には、静磁場型の分析器が一般的に用いられるが、市販品は極めて高価なうえ、30 keV 未満の比較的低速の電子ビームを対象とした商品は我々の知る限り存在しない。そこで我々は、エネルギー30 keV およびそれ以下の電子ビームを0.1 eV 程度の高いエネルギー分解能でエネルギー測定できる分析器を自ら設計および製作した[1]。我々は、市販の磁場計算ソフトウェアと自作のソフトウェアを組み合わせ、磁場分布の3次元解析と高速電子の飛行軌道シミュレーションを行うことで、静磁場による90度偏向型エネルギー分析器[2]を設計した。さらに、エネルギー分析した電子の像を検出器に拡大投影するための8極子型磁場レンズ、静磁場分析器のエネルギー分解能を高めるための8極子型収差補正器も設計した。

ピコ秒パルステラヘルツ波は、我々が所有する波長1030 nm、パルス幅300 fs、繰り返し200 kHzの高強度レーザー光源を用いて発生を試みた。また、テラヘルツ光の発生と並行して、発生したピコ秒テラヘルツ光の波形および電場振幅を測定するための電気光学サンプリング用の光学装置を開発した。

成果報告会では、以上の装置開発について具体的に紹介する。本課題の成功によって、時間・空間・エネルギーの3つの分解能が全て高水準にある、電子ビームによる極限的な測定への道が拓かれた。

【キーワード】 電子顕微鏡、超短パルスレーザー、電子エネルギー損出分光

【参考文献】

- ・ [1] 立花佑一、森本裕也、原子衝突学会誌 しょうとつ 第21巻第5号、R003 (2024).
- ・ [2] R. F. Egerton, Electron Energy-Loss Spectroscopy in the Electron Microscope, Springer (2011).