

量子電子顕微鏡と非弾性散乱過程

Inelastic Scattering Processes in Quantum Electron Microscopy

秋田県大知メカ¹, サバンジェ大物理^{2,○}岡本 洋¹, サズガリ ヴァヒッド², カヤ イスメット²

Akita Prefectural Univ.¹, Sabanci Univ.², [○]Hiroshi Okamoto¹, Vahid Sazgari², Ismet I. Kaya²

E-mail: okamoto@akita-pu.ac.jp

概要：近年、生物系分野はもちろんのこと、材料系分野でも電子線により損傷しやすい対象を電子顕微鏡で高分解能観察する要求が高まっている。これに応える手法の一つとして量子電子顕微鏡法（量子電顕、Quantum Electron Microscopy）が提案されている。本講演では、量子電顕について簡単に紹介するとともに、量子電顕そのものの分解能の主要決定因子である非弾性散乱の効果緩和する方法を提案する。

電子顕微鏡において、電子線による試料の損傷を軽減するためには、従来から電子エネルギーを下げる（凍結生物試料の場合、意外と効果が薄い）、試料温度を下げるなどの方法がある。とりわけ生物分野のクライオ電顕法においては試料損傷が分解能を決定するが、多数の同一分子がある場合は巧妙なデータ解析により平均化を行い、高分解能を得る方法が確立している。しかし、測定対象が1つしかない場合はこのような平均化は不可能である。

一方で、量子計測学分野では interaction-free measurement, entanglement-assisted measurement などの巧妙な方法が古くから知られている。これを低ドーズ電子顕微鏡に応用する研究は2006年より現れ始め、世界の複数のグループが様々なアプローチで実験を始めている[1]。

秋田県立大・サバンジェ大グループのアプローチは電子線を磁束型超伝導ビットの作る磁場と相互作用させることにより、位相物体である対象試料の引き起こす電子ビームの位相シフトを量子ビットに蓄積させるというものである[2]。現在製作中の超小型電子顕微鏡を今後4Kでテストし（図1）、これをさらに希釈冷凍機に搭載して電子ビームと量子超伝導デバイスの相互作用をテストするべく原理検証実験を進めている。

超伝導タイプの量子電顕においては電子 k 個を言わばまとめて一つの仮想的な粒子として扱うことにより分解能を改善するが、 k 個の電子を使っている間に非弾性散乱が起きると、仮想的な粒子一つが全部無駄になってしまう。このダメージを緩和するための量子力学的な方法を現在提案中である[3]。

過去の院生である奥田・高山両氏および機械加工の三浦氏の貢献に感謝する。本研究は科研費（課題番号 19K05285）の支援を受けている。

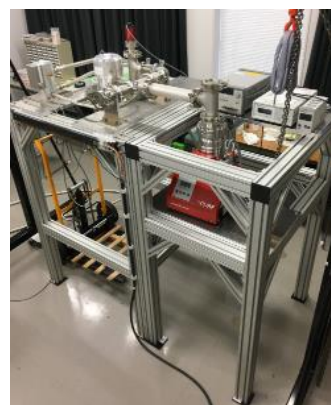


Fig. 1 Cryogenic QEM testbed.

参考文献

- [1] P. Kruit et al. Ultramicroscopy **164**, 31 (2016).
- [2] H. Okamoto and Y. Nagatani, APL **104**, 062604 (2014).
- [3] H. Okamoto, arXiv:2001.05603v2 (2020).