

超伝導高周波加速空洞を応用した電子顕微鏡の開発

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

かつて電子顕微鏡は、加速電圧を上げることで位置分解能の向上を実現してきたが、今や球面収差補正など新たなテクノロジーを採用することで、低電圧でも優れた位置分解能で試料観察を行うことが可能となってきた。一方、スキルミオンや超伝導体など試料の厚みに依存した現象も様々に存在し、厚い試料をそのまま観察したい、というニーズも存在する。厚い試料を観察するには高い透過力、すなわち高いエネルギーの電子ビームが必要となるが、従来の電子顕微鏡が採用してきた静電加速方式では既に達成されている数MV以上を達成することは放電限界により不可能であり、別の加速方式が必要となる。

■ 活動内容

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構(KEK)は荷電粒子を加速する“加速器”を用いて、素粒子など基礎物理学の研究や、材料や生体試料などの物質構造研究などを行う組織であり、加速器自体の開発・研究も盛んに行なわれている。

KEKのつくばキャンパスでは数多くの電子加速器がある。電子の加速には、金属で閉じた空間に高周波(RF)を投入して発生する共鳴電場を用いる。この金属で閉じた空間を、加速管や加速空洞と呼ぶ。加速空洞の中でも、超伝導材であるニオブを採用した超伝導高周波加速空洞は、熱損失がほぼ無視できるため、効率良くRFのエネルギーを電子の加速に使用することができ、SuperKEKBやcERL加速器でも採用されている。

本研究では、加速器で醸成された技術である、超伝導加速空洞を電子顕微鏡に採用し、これまでにない高エネルギー電子ビームを電子顕微鏡で実現することを目的としている。電子源には光陰極電子銃を採用し、超伝導加速空洞の振動電場の周波数に合わせて、高品質な電子ビームを供給する。

本研究ではまず、従来型の300 kV透過型電子顕微鏡をベースに、熱電子銃を新たに開発している光陰極電子銃と超伝導加速空洞で置き換えることにより、超伝導高周波加速方式透過型電子顕微鏡(SRF-TEM)の原理実証を目指している。

超伝導高周波加速空洞の採用で加速エネルギーの限界はなくなるものの、振動電場で有限長の電子バンチを加速するために、エネルギー幅が従来の静電加速方式と比較し増大してしまう。この結果色収差による位置分解能の

悪化も予想されるため、本研究では2つの共振モードを同時に励振できるような、特別な加速空洞、“2モード空洞”を設計した。SuperKEKBやcERLでは電子ビームを TM_{010} モードと呼ばれる基本モードで加速するが、2モード空洞ではこの TM_{010} モード(1.3 GHz)の2倍高調波である TM_{030} モード(2.6 GHz)を重ねることにより、電子ビーム内のエネルギー分布を平坦化することが可能となっている。

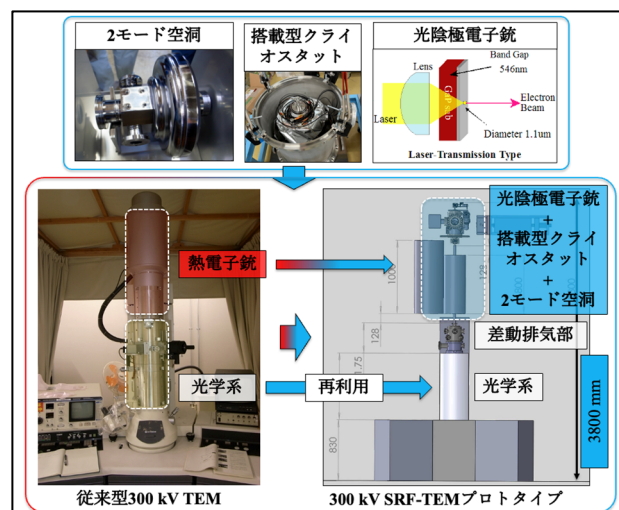
SRF-TEMの利点は高い透過力を含め、以下の4点である。

1. 高い透過力
2. 装置規模のコンパクト化
3. 時間分解能の獲得
4. 位置分解能の向上

我々は既に光陰極電子銃と2モード空洞を製作済みであり、それぞれの性能評価試験を行っている段階である。また、液体ヘリウムを使って2モード空洞を4 Kまで冷却するクライオスタットについても、おおよその構成部品は製作済みとなっており、現在組み立てを行っている段階となっている。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

本研究はJSPS科研費 JP24K03209の助成を受けて実施された。



代表発表者 東 直(ひがし なお)
 所 属 大学共同利用機関法人
 高エネルギー加速器研究機構
 加速器研究施設
 問合せ先 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1
 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構
 PF 電源棟
 TEL: 080-3755-9832 FAX: 029-864-3182
 nao.higashi@kek.jp

■キーワード: (1) 加速器
 (2) 電子顕微鏡
 (3) 電子ビーム
 ■共同研究者: 古屋 貴章
 山本 将博
 舟橋 義聖
 金 秀光
 三浦 孝子