

論文審査の結果の要旨

氏名 東 直

本論文は、7章からなる。第1章はイントロダクションである。この研究のテーマである透過型電子顕微鏡の現状について説明し、その限界を明らかにし、この研究で提案する新しい方法により、これらの限界がどのように克服され新しい視界が開かれるかを述べている。第3章では超伝導RF加速を用いたコンセプトを議論し、期待される特徴とその長所について議論されている。第4, 5, 6章はこの研究の3つのステップがそれぞれ詳細に記述されている。第4章は数値シミュレーションをもちいたRF加速空洞の設計、第5章は設計に基づいた試作空洞の製作とその性能テストについて、そして第6章ではRF加速を電子顕微鏡に応用するために不可欠な精密制御の開発とテストについて議論されている。第7章は全体のまとめで、この研究の成果をまとめ、これをもとに実用的な電子顕微鏡の展望が述べられている。

透過型電子顕微鏡 (TEM) は光学顕微鏡の回折限界をはるかに超えてnm以下の分解能を実現し、その発明以来、物理学、化学、生物、医学を含む多くの学術分野において重要な成果をもたらしてきた。しかし、電子が透過でき十分な分解能を得るためには試料を10 nm程度に薄くスライスする必要がある、それが観測対象に制限を与えている。例えば、超伝導体における磁気渦の研究や、スキルミオンなど磁性体中の新しい電子スピンの状態など、厚い試料の観測により新しく開ける研究がある。これを実現するためには一般的なTEMのビームエネルギーである100 kV程度では困難でMeVオーダーの高い加速電場の顕微鏡が望まれる。しかし、従来のDC電場による機構ではこのような高い電圧は放電による限界があり、それを克服した装置は高さ10 mを超える巨大な装置になり高エネルギー顕微鏡の数は大変限られている。

本研究の目的は、TEMの限界を全く新しい技術で克服し、小型で高エネルギーのTEMを実現し、さらに現在の最高エネルギーの顕微鏡を凌駕する高い加速電場も実現し、TEMの全く新しい視界を開くための基礎技術の研究と確立である。

この研究では、高エネルギー加速器で使われてきたRF空洞による加速を用いて従来のDC電場による加速ではかなわなかった高いエネルギーの加速を実現することを目的とする。しかし、新しい技術の導入には当然新しいチャレンジが含まれる。顕微鏡で高い分解能を達成するためには電子ビームのエネルギー分散を非常に低いレベルに抑えることが不可欠である。それは、従来の高エネルギー加速器用RF空洞のデザインでは困難であり、新しいタイプの空洞を開発する必要があった。2-モード空洞という2つの周波数のRFパワーを同時に組み合わせ特殊な波形のRFを実現し超低分散の加速を可能にする。十分なビーム電流を得るために、それを超伝導空洞で作る。さらに、低エネルギー

分散のためにはRF電場の強さと波形の時間的な揺らぎを高度なレベルで抑える必要があり、そのために2つの波の強度と位相を精密にフィードバック制御する技術も実現した。

研究の第1歩として、300 kVクラスのプロトタイプ顕微鏡の製作をめざし、(1)初の2-モード超伝導空洞を設計し、(2)これまでになかった構造の空洞の製作に成功し、パワーをいれて性能評価をおこない、(3)精密制御装置の構築と性能評価をおこなった。

これにより、提案した新しいRF加速による電子顕微鏡が可能であることを実証し、技術的基礎を確立し、300 kVの最初のRF加速顕微鏡建設への道をつけた。将来MeVクラスの更に高エネルギーの顕微鏡により新しい視界を開き、学術の発展に大きな寄与をするための基礎を築いた。

なお、本論文は山下、神谷、榎本、古屋、山本、道園、船橋との共同研究であるが、論文提出者が主体となって計画、装置の設計、製作、性能評価、分析をおこなったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。