

審査の結果の要旨

氏名 陳 昭福

誘電体レーザー加速器(Dielectric laser accelerator : DLA)は、従来の RF 加速空洞による加速電場より 1 桁から 2 桁大きい電場に到達可能な新規加速技術である。洗練されたナノスケール構造の作成技術や超高速のレーザー技術を活用することにより、DLA の実験系をよりコンパクトにすることができる。それによって DLA は入手がより容易な加速器としての利用が期待される。誘電体構造の最適なジオメトリを検討し、高効率な DLA 電子源を設計した。

第一章は、本研究の概略紹介である。ここでは DLA の背景や、使用する誘電体構造について説明する。また本研究の動機である、放射線生物学の研究に必要な電子源についてもここで議論する。1MeV のエネルギーをもつ電子源が必要であるが、それを実現するための DLA 構造について議論する。

第二章では、一層単層の格子上の誘電体を用いた粒子加速の基本原理について議論し、いくつかの数値計算の結果を紹介する。ここでは回折効果により、単層格子は電子加速の効果を消してしまうモードを引き起こすことを示す。そのようなモードは格子の表面の距離から離れるにつれ、指数関数的に減少する。その斜め構造の特徴により、与えられた電子バンチのエネルギーの広がりが大きくなり、その有益性がかなり制限されてしまう結果となるという問題を明らかにした。

第三章では、二層構造の共振器の設計方法について議論する。それは回折格子を組み合わせ、Fabry-Perot 空洞を共振させることによって実現可能である。この構造は対称的な加速モードを形成し、それは電子チャネルの中心付近では比較的均一であり単一サイドでの照度によって生成可能である。局所場の増大により、入力レーザーの出力も共振のない二層格子に比べて小さくなる。このようにして、レーザー出力による効果的な電子加速が可能となることを示す。

第四章では DLA のための一次元の導波管の設計方法について議論する。ここでは導波管の反射材として高反射率の格子を用いる。中空コアと反射格子の整合層を設計することにより、電子の速度に合わせた位相速度を持った特定の加速モードが導波管内で維持可能となる。従来のフォトニック結晶の導波管と比較

して、単層格子の反射構造は、導波管の横方向のサイズを小さくすることができ、その制作及び統合を簡素化することができる。

第五章は、DLA 構造の実験体系の開発状況について述べる。光電陰極を用いた電子銃は 50keV の電子ビームを製造するために使用される。電子ビームは四重局磁場によって格子サンプルに集中させ、レーザービームによって励起された加速モードと相互作用する。その後、電子ビームは偏向磁石分光器によって偏向させマイクロチャンネルプレートによって検出させる。よって横方向分散、つまりエネルギー分散が測定可能となる。必要な機材はすべて製造されており、今後実験を進めることが可能になる。

第六章では結論、加えて本研究の最終目標である 1MeV の電子源のための将来性について述べる。

以上のように、本論文では単層格子、二層格子、そして格子に基づいた導波管の 3 つの DLA 構造について研究し、実験のための装置を設計し開発した。本論文で設計した DLA 構造は超短パルスレーザーを用いた非常に高い電場を用いた新規の電子源を実現する。すなわち、放射線生物学に応用可能な電子源を小型の卓上加速器で実現する道を拓き、当該分野への貢献は小さくない。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。