



Title	フェムト秒・アト秒電子線パルス発生に関する研究
Author(s)	菅, 晃一
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/23468
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	菅 晃 一
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 22977 号
学位授与年月日	平成21年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科環境・エネルギー工学専攻
学位論文名	フェムト秒・アト秒電子線パルス発生に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 吉田 陽一 (副査) 教授 西嶋 茂宏 准教授 泉 佳伸 准教授 楊 金峰

論文内容の要旨

本論文は、フェムト秒・アト秒領域での量子ビーム誘起高速反応の解明を目指して、フェムト秒・アト秒電子パルス発生に関する研究の内容と成果をまとめたものである。本研究で、超短パルス電子線発生のための磁気パルス圧縮器におけるビームダイナミクスを理論的に明らかにし、フォトカソードRF電子銃加速器を用いて最短98フェムト秒の電子パルス発生に成功した。また、電子ビームを低エミッタンス化し、アト秒電子ビームダイナミクスやシミュレーションの研究を行い、アト秒電子パルスの発生方法を確立した。

第1章では、研究背景や研究の位置づけ、意義と研究目的について説明した。

第2章では、磁気パルス圧縮器におけるフェムト秒・アト秒電子ビームダイナミクスの研究について説明した。超短パルス電子線を発生するためには、パルス幅増大に寄与する効果を考慮する必要がある。そこで、本研究では、磁場の高次効果、ビームのエミッタンス、空間電荷効果、Coherent Synchrotron Radiation (CSR)などの効果による、パルス幅の増大を理論的に明らかにした。六極電磁石と非線形エネルギー変調による高次効果の補正方法を考察し、フェムト秒電子パルス発生方法を確立した。また、フェムト秒・アト秒電子パルス発生には空間電荷効果と高次効果のほか、ビームエミッタンスとCSRによるパルス幅の増大が支配的になることが分かった。

第3章では、フェムト秒電子パルス発生の実験と測定結果について説明した。フェムト秒電子パルスを生成するために、本実験では、フォトカソードRF電子銃を用いて低エミッタンスの電子ビームを発生し、加速管における電子パルスのエネルギー変調および磁気パルス圧縮器における電磁石の磁場を最適化することにより、高次効果およびCSRの影響を低減し、電荷量が0.2 nCのとき、最短98 フェムト秒の電子パルスの発生と計測に成功した。また、得られたパルス幅を理論研究の結果と比較し、空間電荷効果とエミッタンスによるパルス幅の影響が明らかになった。

第4章では、アト秒電子パルス発生に関する研究を説明した。磁気パルス圧縮におけるアト秒電子ビームダイナミクスを理論的に解明し、アト秒電子パルス発生方法を確立した。そこで、フォトカソードRF電子銃からフェムト秒電子パルスを発生し、磁気パルス圧縮器に六極電磁石を導入することにより、アト秒電子パルスを発生する方法を考察した。しかし、極低エミッタンスかつフェムト秒電子パルスの発生源が必要である。そのため、本研究では、電子銃におけるフェムト秒電子パルス発生メカニズムを明らかにし、新しいレーザーフォトカソードフェムト秒電子銃を開発した。この電子銃は、従来の電子銃よりも加速空洞の対称性が改善し、共振周波数におけるQ値を1割程度向上することに成功した。最後に、フェムト秒レーザーでカソードを励起することにより、フェムト秒の電子パルスを発生し、磁気パルス圧縮器によりアト秒電子パルス発生シミュレーションを行った結果、0.01pCで780アト秒の電子パルスを発生できることがわかった。

第5章では、本研究で得られた結果をまとめた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、フェムト秒・アト秒電子線パルス発生に関する研究の内容と成果をまとめたものであり、フェムト秒電子線パルス発生ダイナミクスの理論的解析に基づき、フェムト秒電子線パルスの発生方法を確立した。さらにその手法を進展させ、アト秒電子線パルス発生方法の考案を行っている。

パルス幅の増大に寄与する磁場中の高次効果、ビームのエミッタンス、空間電荷効果、Coherent Synchrotron Radiation (CSR)の効果を定量的に解析し、本研究で以下のような成果が得られた。

- (1) フェムト秒電子ビームダイナミクスの研究を行い、フェムト秒電子線パルス発生には空間電荷効果と高次効果のほかに、エミッタンスとCSRによる効果も支配的になることが新たに明らかとなり、それらの効果を定量的に解析した。
- (2) フェムト秒電子ビームダイナミクスの研究で得られた知見を基に、フェムト秒電子線パルス発生実験を行った。フォトカソードRF電子銃を用いた低エミッタンスの電子ビームの発生、エネルギー変調と磁気パルス圧縮器の最適化、空間電荷効果およびCSRの影響の低減により、最短98フェムト秒の電子線パルスの発生と計測に成功した。
- (3) アト秒電子ビームダイナミクスの研究を行い、アト秒電子線パルス発生方法を考案した。アト秒領域になると無視できない高次効果を低減するために、新たな電子銃でのフェムト秒電子線パルスの発生方法を見出した。シミュレーションを行った結果、780アト秒の電子線パルスを発生できることが示された。

以上のように、本論文はフェムト秒の電子線パルス発生理論的解析および発生方法に関して、新しい物理的知見を与えている。これまでにほとんど報告例が無い、アト秒電子線パルス発生方法と応用についても詳細に議論されている。フェムト秒・アト秒電子線パルスの実現は、量子ビーム誘起現象に対する本質的理解という、極めて独創的内容を有する工学的かつ学術的成果が得られ、放射線物理化学、材料科学の分野への寄与は大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。