

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	上 杉 祐 貴
学位授与の要件	学位規則第4条第1・②項該当		
論 文 題 目			
Development of a high finesse optical cavity with self-resonating mechanism for laser Compton scattering sources (レーザーコンプトン散乱光源のための高フィネス自発共鳴型光共振器の開発)			
論文審査担当者			
主 査	准 教 授	高 橋	徹
審査委員	教 授	鈴 木	孝 至
審査委員	教 授	岡 本	宏 己
審査委員	教 授	栗 木	雅 夫
〔論文審査の要旨〕			
<p>本論文は、レーザー光と高エネルギー電子の散乱、レーザーコンプトン散乱、による光子源開発に関して、生成光子の強度増大に関する課題を解決する新技術の開発について研究したものである。</p> <p>レーザーコンプトン散乱は、エックス線からガンマ線領域の、準単色な偏極光子を生成する方法として着目されている。この方法は、小型光源が構築できること、偏極光子源の構築が可能であるなどの利点があり、物性研究、商用、医療のためのエックス線源や、素粒子・原子核実験のガンマ線源として期待されている。</p> <p>レーザーコンプトン散乱光源の課題である輝度の向上のため、光共振器にレーザー光を蓄積することによって強度を増大する手法が開発されている。レーザー光の蓄積のためには共振器長を光の波長の整数倍に保たなければならないが、要求される精度が、共振器の強度増大性能を表す指数フィネスに反比例する。そのため高強度レーザー光の蓄積を実現するためには制御技術の開発が大きな課題である。</p> <p>本論文の著者は、この共鳴維持の問題を原理的に回避することができる新しいレーザー光蓄積装置「自発共鳴型光共振器」の開発を行った。この装置は、レーザー光増幅器と光共振器で構成されている。装置内では、光共振器の共鳴条件を満たした波長の光のみが増幅され、増幅器の利得が装置内における損失を上回るとレーザー発振状態となり、光共振器内にレーザー光が蓄積される。一般に光共振器は、外部からの擾乱などによりその長さが変動するが、自発共鳴型光共振器では擾乱により共振器長が変化しても、レーザー光の波長がそれに追随し、共鳴発振状態が維持される。自発共鳴型光共振器は2012年に共同研究者によって提案され、低フィネス共振器によってその動作が確認された。しかし、自発共鳴発振は、光増幅器の特性や光共振器を含む光学素子の機械的安定性など、複雑な要素が絡んでいる。その</p>			

ため、フィネスが高い場合に共鳴状態が共振器の揺らぎに追従できるか、外乱に対して安定した共鳴維持が可能であるか、などについて実験的研究開発が必須である。

本研究では、高フィネス光共振器とファイバー型光増幅器を用いた、自発共鳴型光共振器を構築した。高フィネス光共振器のための高反射率鏡は、表面の汚れなどに非常に影響されやすく、性能が劣化する可能性がある。そのため、鏡表面における乱反射の評価と表面の洗浄による鏡の洗浄と取り扱い手順を確立し、単体の性能として、フィネス $646,000 \pm 3,000$ の光共振器を構築した。これは鏡の反射率 $99.999515 \pm 0.000002\%$ を維持して光共振器を構築できたことに相当する。光増幅器は、利得のスペクトル幅が 1030nm を中心に $\pm 50\text{nm}$ と広く、自発共鳴型光共振器に適したファイバー型光増幅器を作製した。

作製した自発共鳴型共振器の光増幅器の増幅率を増加させながら、共振器内に蓄積されたレーザー光強度を観測し、レーザー光蓄積強度増大率 $187,000 \pm 1,000$ 倍、蓄積強度 $2.52 \pm 0.13 \text{ kW}$ が達成できていることを確認した。レーザー発振・蓄積状態は2時間以上継続し、その間の蓄積強度変動は1.7%と、非常に安定した状態を維持することができていた。また、レーザー発振・蓄積状態において、光共振器のフィネスを評価し、自発共鳴状態の揺らぎなどの性能を含んだ実効フィネスとして、 $394,000 \pm 10,000$ を得た。この値は、光共振器の光路長の制御精度に換算すると 0.16 pm に対応する。従来のフィードバック制御方式では達成困難な値であり、自発共鳴型共振器の有用性を示している。

本研究では、能動的な共振器長制御を行わない方法によって、高フィネス光共振器の構築し安定の動作させることに成功した。その結果は、高フィネスの光共振器の課題を原理的に解決したものであり、高フィネス光共振器の応用に大きく貢献するものである。

申請者は本研究にあたり、装置の設計、製作からデータの解析とりまとめに至るまで、研究の全般にわたって中心的な役割を担った。参考論文の一件は光共振器の能動的制御についてであり本研究と相補的なものである。また他の一件は加速器の陽電子源に関する研究を筆頭著者としてとりまとめたものであり、その学術的価値は高い。

以上審査の結果、本論文は博士論文としてふさわしい学術的内容を備えており、本論文の著者は博士（理学）の学位を受ける資格が十分にあるものと認める。