

審査の結果の要旨

論文提出者氏名

周 翔宇

光のパルス幅は光の1サイクルで制限され、800 nm では2.7 フェムト秒が限度である。したがって、アト秒 (10^{-18} 秒) パルスを発生するには、光の周波数を高くする(波長を短くする)ことが必要となる。高次高調波発生はアト秒パルス発生の有効な手段であるが、アト秒高調波発生のためには、10fs を切る高出力励起光源が必要である。レーザーによる超短パルス化の進歩は目覚しく、現在近赤外の Ti:sapphire レーザーを用いることにより 3 fs が得られている。しかし、高調波発生に必要な高出力増幅システムではスペクトルの狭帯域化が起こり、20 fs 以下のパルスの発生は難しい。

本論文の目的は Ti:sapphire 超短パルス増幅器のパルス幅の記録の更新を目指し、同時に 5 kHz で sub TW 級出力を得ることである。

第1章では、序論として超短パルスレーザーの発展と問題点、高強度超短パルスレーザーと高次高調波の特性を記述し、この論文の目的と意義を述べている。

第2章では、チャープパルス(CPA)増幅法と光パラメトリック増幅法(OPA)に関する原理について説明している。そして、超短パルス発生に必要な分散補償方法とパルス評価法に関する原理と装置について述べている。

第3章では、可変形鏡(Deformable Mirror)と遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm)を用いた高次分散補償によるチャープパルス増幅について述べている。スペクトルの狭帯域化を防ぐため、再生増幅器の共振器に薄膜フィルム偏光子、エタロンおよびペリクルを挿入し、更に、針三本を空間マスクとして用いて、740 nm から 865 nm のスペクトル(半値全幅 115 nm)を得た。これはフーリエ限界パルスで、14 fs に対応する。適応光学系として可変形鏡を遺伝的アルゴリズムを用いて最適化し、周波数領域の位相を補正した。具体的にはレーザー光にグレーティングで角度分散を与え、それぞれの波長成分をフーリエ面で DM により反射させ、鏡面を変形させ、反射光の位相面を制御している。この結果、グレーティングとプリズムで補償できない高次分散を補償し、パルス幅 15 fs で平均出力 7 W を達成した。

更に出力の安定化と簡単さを目指して、音響光学素子(DAZZLER)を用いた適応型高次分散補償実験について述べている。スペクトルの狭帯域化を防ぐため、再生増幅器の共振器に多層膜フィルターとペリクルを挿入し、740 nm から 865 nm までのスペクトルを得た。これはフーリエ限界パルスで、15 fs に相当する。増幅したパルスの位相を SPIDER 法で測定し、その位相情報を DAZZLER にフィードバックして分散補償を行っている。この結果、パルス幅 16 fs、5 kHz で平均出力 9 W が得られた。可変形鏡による適応制御に比べ出力と安定性は高くなり、実用性の向上を確認した。

第4章では、更なる短パルス化のため、OPA とチタンサファイア増幅を併用したシステム、すなわち前段で OPA を使い、後段でチタンサファイア増幅を用いたハイブリッドシステムについて述べている。OPA は従来のような反転分布を利用した増幅方法とは異なり、非同軸配置での位相整合条件により、広帯域で利得が得られる。しかし、OPA の欠点は変換効率が低いので大きなエネルギーが得にくいことである。そのため、前段で OPA 増幅し、後段で Ti:sapphire 結晶を用いた増幅をすることにより、広帯域と高出力パルスを同時に得ることが可能と考えた。2段の非同軸 OPA により 720 nm から 890 nm までの波長領域

で増幅光が得られた。そしてチタンサファイアレーザーにより 5 kHz で 3.5 W まで増幅した。グレーティング圧縮器に加え DAZZLER を用いて全システムの位相を適応制御し、パルス幅 11 fs、出力 2 W が得られた。11 fs の Ti:sapphire 増幅システムの開発により、Ti:sapphire 増幅器の短パルス記録を更新した。

第 5 章では、Broadband Frequency Doubling (BFD) (広帯域波長変換) により第二高調波発生(SHG)について述べている。10 fs 以下の光源を得るため、第二高調波発生により更なる短パルス化を目指した。フェムト秒パルスの第二高調波発生では、一般に群速度ミスマッチにより狭帯域化し、2 倍波パルス幅はむしろ増大する。この問題を解決するため、BFD を用いて全帯域 SHG を行った。レーザー光に Grating による角度分散を与え、波長毎に位相整合角で結晶に入射させ、2 倍波の角度分散を 2 倍の溝本数をもつ Grating で補償している。全系の効率は 22% である。更に光学系の収差を回避するため、望遠鏡形 BFD 光学系を採用し、口径の大きい入射パルスによる波面収差を補正し、パルスフロント歪を除去している。望遠鏡形 BFD の位相を可変形鏡により適応制御し、15 fs の基本波から 7.5 fs の 2 倍波を得、サブ TW 級で世界最短パルスを得た。この時の 2 倍波出力は 5 kHz で 1 W である。

第 6 章では結論として超短パルス増幅器の性能について述べている。このレーザー増幅器は他の光源より突出した性能を持つことを確認している。

以上、アト秒パルス発生のためパルス幅 10 fs 以下の光源を開発した。これにより、Ti:sapphire 増幅器の短パルス記録を更新した。この研究は物理工学に大きく寄与するものであり、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。