

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	高田 英行
論文題目	超短パルスレーザー増幅システムの高性能化に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、超短パルスレーザー増幅システムの高性能化を目標として、チタンサファイアレーザーに焦点を当て、モード同期レーザー発振器、パルス伸長・圧縮器、チャープパルス(CPA)増幅器などのシステムを構成する主要な装置の動作特性の飛躍的向上を図ると共に、高性能化に必要な高機能な光学素子やパルス制御技術を開発し、それらを高度に統合・システム化することによって実現したレーザー増幅装置の研究の成果をまとめたものであり、10章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、高強度な超短パルスレーザーの進展によって光科学の新領域が開拓されてきた経緯と、それが先端科学技術開発に及ぼしてきた意義について論じている。当該領域の更なる発展には、レーザー増幅システムの高性能化が不可欠であるとし、繰り返し動作周波数が比較的小さい(10 Hz)が、小型で高い尖頭出力を放出できるレーザー (システム-1)、及び動作周波数が大きく(kHz)、位相制御可能な高強度超短光パルスを出力できるレーザー(システム-2)の開発を目標として行った研究の概要を述べている。</p> <p>第2章では、本研究で取り上げたチタンサファイアレーザーとCPAの原理、増幅システムを構成するモード同期発振器、パルス伸長器と圧縮器、固体レーザー増幅器の動作原理を記述し、超短パルス出力の特性に影響する光学素子・媒質の分散、搬送波包絡線位相(CEP)の制御と評価法に関する理論的・技術的基礎を議論している。</p> <p>第3章では、増幅システム用のシードパルスを発生するモード同期発振器の超短パルス化を目的として行った研究を述べている。広帯域のダイクロイックチャープミラーを開発し、それをを用いてパルス幅$\Delta\tau \sim 7$ fsのパルスを高安定に発生できる高性能なモード同期レーザー発振器の開発に成功した。また、さらなる短パルス化のため、1オクターブ以上の発振波長帯域を持つモード同期レーザー発振器を開発している。</p> <p>第4章では、尖頭出力10 TW以上を出力するシステム-1の構築に必要な広帯域パルス伸長・圧縮器、及び液晶空間光変調器を用いた分散補償器の開発について述べている。この研究では、$\Delta\tau \sim 10$ fsのシードパルス幅を$\Delta\tau \sim 300$ psまで伸長すると共に、増幅後に$\Delta\tau \sim 10$ fsレベルに再圧縮する必要がある。パルス伸長器の開発が特に重要であり、光線追跡法を用いたシミュレーションや、収差の小さい望遠鏡の採用によって、高性能な装置の設計・製作を目指した。開発したパルス伸長・圧縮装置を用いて$\Delta\tau < 10$ fsのパルスの伸長・再圧縮実験を行い、出力パルスのスペクトル位相と時間波形をSPIDER法で評価した。結果を基に、液晶空間光変調器を用いて残留分散を精密に補償できる分散補償器を開発し、サブ10 fsにまで再圧縮できるチャープパルス伸長・圧縮装置を実現している。</p> <p>第5章では、チャープパルス増幅器での利得狭窄現象を克服するために行った利得狭窄補正フィルターの開発について述べている。同研究では、マルチパス増幅器と再</p>			

生増幅器の双方に適用できる新しい利得狭窄補正素子として、誘電体多層膜を用いた広帯域スペクトルフィルタを開発した。このフィルタを用いてシステム-1用のマルチパス増幅器、及びシステム-2用の再生増幅器について実験を行ない、いずれにおいても、 $\Delta\tau \sim 10$ fsの出力パルスに必要な利得狭窄補正を実証している。

第6章では、増幅システムを構成する個々の装置の高性能化に必要なミラーの開発について述べている。システムの目標性能を実現するためには、高耐光強度性と広帯域性・低分散性を兼ね備えたミラーが必須である。そのため、広反射帯域・低破壊閾値の誘電体多層膜の上に高破壊閾値の誘電体多層膜を積層した新構造のミラーを設計・製作して所期性能を実現している。また、高耐光強度と広反射帯域幅を有し、かつ励起レーザー波長530 nmでの良好な透過性を備えたダイクロイックチャープミラーを新たに開発している。

第7章では、本研究で開発した利得狭窄補正フィルタや高耐光強度広帯域ミラーを適用したチャープパルス増幅器の設計・製作、及び動作特性について記述している。10 Hz動作のシステム-1では、全体の残留分散補償を容易にするためにマルチパス増幅器を採用し、フーリエ限界パルス幅 $\Delta\tau \sim 11.5$ fs、パルスエネルギー300 mJ以上の出力を達成している。また、1 kHzで動作するシステム-2用に開発した広帯域再生増幅器では、フーリエ限界パルス幅 $\Delta\tau \sim 9.7$ fs、出力パルスエネルギー90 μ J以上を得ている。

第8章では、第3章～第7章で述べた光学素子と要素技術を用いて増幅システム-1及びシステム-2を構築し、そのシステム構成と得られた動作特性、並びに出力特性について述べている。システム-1の10 Hz動作では、最短パルス幅 $\Delta\tau = 12$ fs、尖頭出力10 TWクラスの出力を記録している。また、システム-2では、1 kHz動作において $\Delta\tau = 12$ fs、パルスエネルギー38 μ Jの高繰り返し出力を得ている。これは、kHz動作のチタンサファイアレーザー増幅システムからの出力パルスとしては世界的にも最短パルスである。

第9章では、システム-2のシードパルスを供給するモード同期発振器について、CEP制御技術を開発した結果について述べている。高安定な発振器動作を実現しており、1 Hz から1 MHzまで積算した位相ゆらぎは270 mrad (rms値)であった。この発振器を用いて1 kHz動作のCEP同期レーザー増幅システムを開発している。増幅出力パルスのCEPをシングルショットで検出できる自己参照型スペクトル干渉法を新規に考案し、出力パルスのCEPゆらぎを迅速に評価できるようにした。

第10章では、本研究の結論と今後の展望についてまとめている。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、超短パルスレーザー増幅システムの高性能化を目標として、システムを構成する主要装置の動作特性の向上を図ると共に、それに必要な光学素子とパルス制御技術の高機能化を行い、開発要素技術を統合・システム化することによって構築したフェムト秒(fs)チタンサファイアレーザー増幅装置に関する研究結果をまとめたものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

(1) 数サイクルのレーザーパルスを発生するモード同期レーザー発振器に必要な広帯域ダイクロミックチャープミラー、チャープパルス増幅における利得狭窄補正のための誘電体多層膜フィルター、尖頭出力10 TWレベルへの増幅に必要な高耐光強度広帯域ミラー、及び高繰り返し再生増幅器に不可欠な高耐光強度ダイクロミックチャープミラーの研究開発を行うことにより、従来の光学素子では得られない高性能な特性を実現している。

(2) 開発した光学素子を利用して、システムを構成する装置の高性能化を行った。広帯域ダイクロミックミラーを利用して、数サイクルのレーザーパルス(パルス幅7 fs)の搬送波包絡線位相(CEP)を制御できるモード同期レーザー発振器を開発すると共に、このレーザーパルスを伸長・圧縮できる残留分散の小さい広帯域パルス伸長・圧縮器を開発した。さらに、独自の設計により、200 nm以上の帯域幅を備えたマルチパス増幅器と再生増幅器を開発している。

(3) 開発した超短パルスレーザー発振器、パルス圧縮・伸長装置、及び増幅装置をシステム化することにより、パルス幅12 fs、尖頭出力10 TWを出力する10 Hz動作の超高強度超短パルスレーザーシステム、及びパルス幅12 fs、パルスエネルギー38 μ Jを1 kHzで出力する高繰り返し超短パルスレーザーシステムの構築に成功している。いずれも世界最高性能の特性である。

(4) 1 kHz動作のシステムについて出力パルスのCEP同期化技術を開発すると共に、単一パルスでCEPを検出できる新しい自己参照型スペクトル干渉法を考案することにより、CEP制御による増幅システムのさらなる高性能化を実現している。

これらの研究成果は、超高速・超高電磁場という未踏の物理領域での物質挙動の研究に必要な超短パルス高強度レーザーの高性能化はもとより、高密度な光エネルギーを利用する物質・材料プロセッシングや高輝度X線発生などの広範な高強度レーザー応用科学の発展に貢献するものであり、学術上、實際上、寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(エネルギー科学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年2月17日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降