



Title	超広帯域光パラメトリックチャープパルス増幅システムに関する研究
Author(s)	小川, 奏
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48691
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏名	お 小 川 かなで 奏
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 22075 号
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 25 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	超広帯域光パラメトリックチャープパルス増幅システムに関する研究
論文審査委員	(主査) 准教授 河仲 準二 (副査) 教授 宮永 憲明 教授 乗松 孝好 教授 猿倉 信彦

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、著者が大阪大学院工学研究科博士後期課程在籍中に、大阪大学レーザーエネルギー研究センター及び日本原子力機構 関西光科学研究所において行った超広帯域光パラメトリックチャープパルス増幅システムに関する研究の成果をまとめたものである。

近年の高強度超短パルスレーザーの発展は、学術・研究の分野だけでなく産業応用をも視野にとらえつつあるが、一方でさらなる高強度や短パルス化を目指した研究が世界中で行われている。チャープパルス増幅 (CPA) の提案によって登場した TW レーザーは、集光強度が 10^{19} W/cm^2 を超えるまでに至っており、このような強度ではレーザー電場による電子の振動速度が光速の 88% に達する。そのため、これ以上の強度のレーザーは相対論的レーザーと呼ばれ、新たな物理学の分野を開拓してきた。

著者は高強度超短パルス発生的手法として CPA の増幅段に光パラメトリック増幅 (OPA) を用いた光パラメトリックチャープパルス増幅 (OPCPA) に着目し、これについてのシステム設計や要素技術の開発を行った。OPCPA は光・光直接変換による低い熱負荷から来るスケーリングの容易さや良好なコントラストといった利点を有しており、また励起源に LD 励起レーザーを用いることでシステム全体の小型化や高効率なレーザー運用を可能にすることが出来る。このような OPCPA システムは Ti : Sapphire レーザーに代わる次世代高強度レーザーシステムとして非情に有望である。

本論文は以下のような構成で記述した。

第 1 章では、光パラメトリックチャープパルス増幅 (OPCPA) 法の理論を述べ、OPCPA システムの設計を行った。

第 2 章では、超広帯域 OPCPA 法に必要な広帯域励起光源の開発を行った。

第 3 章では、広帯域増幅実験を行った。広帯域励起光による光パラメトリック増幅 (OPA) を行い 200 nm を超える増幅帯域を得た。

第 4 章では、OPA の増幅帯域の拡張を行った。これにより 400 nm を超える増幅帯域を得ることが出来た。

第 5 章は結論とし、得られた結果をまとめ本論文の総括とした。

論文審査の結果の要旨

10^{21} W/cm² を超える極めて高い強度のレーザー場と物質との相互作用は相対論効果の実証、小型加速器の実現など多くの物理的・工学的研究対象となっている。このような高強度場は数十フェムト秒の短時間にレーザーのエネルギーを集中させることで実現する。従来、フェムト秒パルスの増幅法として広帯域の増幅利得を持つチタンサファイア結晶をレーザー媒質とした増幅器が主流であった。近年、非線形結晶を用いた光パラメトリックチャープパルス増幅 (OPCPA) 法が注目されている。これは、チタンサファイアレーザーに比べてさらに広い増幅帯域が得られいっそう短いパルス幅が実現できることや熱発生が少なく高繰り返し動作が実現できること、増幅部の構成が簡単であることが大きな特徴である。特に、短パルス化に着目して電場周期にして数サイクルのパルス (数 fs) の増幅が実現できればアト秒パルス発生のための光源として利用できる。しかしながら、数百 nm におよぶ利得帯域が必要であり一般に行われる OPCPA 法では不十分であることが最も大きな課題であった。本研究は、数サイクルパルスのテラワットレーザー実現に必要な新規の超広帯域 OPCPA 法についてその基盤研究をまとめたものである。その成果を要約すると以下ようになる。

- (1) 非線形効果による BBO 結晶の位相整合条件を計算し、OPCPA 法における増幅波長や帯域は結晶固有の特性のみで決定するものではなく、励起光とシグナル光との交差角度や励起光の帯域などの設定によってある程度自由に設定できることを示している。具体的な計算を行い、励起光とシグナル光との位相整合角 $\theta = 23.7^\circ$ の non-collinear 条件で、また、OPCPA の励起光のスペクトル幅を 4 nm 以上に広げることにより共に 200 nm 以上の超広帯域増幅の可能性を示している。
- (2) 4 nm 以上のスペクトル幅を持つ励起レーザー光源の開発を試みている。Yb : YLF 結晶もしくは Yb : KYW 結晶を用いた半導体レーザー (LD) 励起の再生増幅器によりそれぞれ 5 nm および 3.4 nm の帯域で数 mJ の出力を得ることに成功している。また、LD 励起 Yb 系固体レーザーを励起源として選択することによりシステム全体の小型化や高効率化の可能性を示唆している。
- (3) 開発した Yb : YLF 再生増幅器を励起源とした OPCPA 法により 200 nm を超える超広帯域増幅を実証している。本システムでは non-collinear 条件に比べて利得帯域が狭い collinear 条件 ($\theta = 0.6^\circ$) で実現しており、高い小信号利得 10^5 が得られている。高い利得と広い利得帯域幅を同時に実現できる有用な手法として検証された。フーリエ限界パルスとして計算すると 10.9 fs (3.2 光サイクル) である。
- (4) 400 nm 以上の超広帯域増幅のために、折り返し 2 回増幅法と発散角を有する励起光による増幅法を提案し、400 nm を超える増幅帯域で 10^5 以上の利得を実験により得ることに成功している。このときのフーリエ限界パルスは 8 fs 以下 (2 光サイクル) であった。

以上のように、本論文は次世代の極短パルス・超高強度レーザーの発展に寄与するところが大きく、その実現により基礎物理学や工学分野の新展開につながるものと思われる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。