

研究課題別事後評価結果

1. アダプティブパワーフォトリクスの基盤技術

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点):

研究代表者

宮永憲明(大阪大学レーザーエネルギー学研究センター 教授)

主たる共同研究者

山川 考一(日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門 研究主幹)

川嶋 利幸(浜松ホトニクス(株) グループ長)

藤田 雅之(レーザー総研 主席研究員)

3. 研究実施概要

チーム全体として、以下に示す五つの目標を掲げ、それぞれ研究開発の対象・課題を選定した。

1) 半導体レーザー励起の高出力固体レーザー(DPSSL)の開発

広帯域増幅方式として光パラメトリックチャープパルス増幅(OPCPA)を採用し、その励起源はDPSSLとする。DPSSLとしては、大出力ピコ秒化に有利なNd:ガラスレーザーを選び、将来有望なものとしてYb系材料も選択した。また、光パラメトリック増幅の前置増幅部にファイバーレーザーを活用し、その高出力化、高安定化を図る。

2) 広帯域レーザー制御

超広帯域光の分散計測・補正を高精度化してパルス幅 $\sim 5\text{fs}$ 、ピーク出力 30TW の技術を実現するとともに、搬送波包絡線位相(CEP)の制御も加味して、世界最高性能の数サイクルレーザーに仕上げる。これと併せて、レーザービームの空間的位相・偏光分布制御を高強度レーザーに導入することも検討する。

3) さらになる高出力化に向けた取り組み

大口径化とビーム結合を併せ持った技術の開発を行う。また、高出力化に不可欠な高耐力多層膜素子に関して、その設計指針を得るためのデータベースを構築する。

4) コンパクトな超短パルスレーザーの技術開発

高繰り返し高平均出力の産業用レーザーにも波及可能な技術を念頭に置き、フェムト秒ファイバー発振器の高性能化を図る。また、従来のチャープパルス増幅(CPA)手法を改良し、よりコンパクトな超短パルスレーザー技術を開発する。

5) 自主開発

可能な限り国産品を用いて、主要な機器は自主開発する。

これら研究計画を推進するため、開発拠点を阪大レーザー研の宮永グループに置き、高出力レーザー技術を有する浜松ホトニクスの川嶋グループ、多層膜等の光学素子評価の知見を有するレーザー総研の藤田グループ、及びYb系高繰り返しレーザーと超短パルスの技術を有する原研機構関西研の山川グループが連携し、共同体制で研究を進めた。また、開発された技術の応用を視野に、外部研究機関との協力体制にも留意した。

各研究グループ及びチーム全体として、以下のような成果が得られた。

$>1\text{mJ}$ /パルスの高安定ファイバーCPA(宮永グループ)、J級Nd:ガラスCPA(宮永・川嶋グループ)、 $>100\text{mJ}$ Yb:YLF CPA(山川グループ)を実証し、高出力・高繰り返しDPSSL技術を大きく進展させた。これらを励起源として、分散・CEP計測・制御フィードバック機能を有する負分散パルス伸長、信号光増幅、正分散パルス圧縮のOPCPAシステム(励起レーザー未投入段階で 8fs 、宮永グループ)及び、正分散パルス伸長、アイドラー増幅、正分散パルス圧縮のコンパクトOPCPA(山川グループ)を構築した。

広帯域種光発生技術としては、完全CEP制御のTi:サファイアモード同期発振器(宮永グループ)、アイドラーを利用したCEP自己安定化光源(宮永グループ)、パルス幅 21.6fs のYbファイバーモード同期発振器(宮永・川嶋グループ)を開発した。

新たな増幅技術としては、部分重水素化KDPによる広帯域OPCPAを実証した。(山川・宮永グループ)また、多ビーム励起光パラメトリック増幅によるコヒーレントビーム結合、半導体レーザーアレイの周波数コムのコ

ヒールント結合による高繰り返しピコ秒発生技術、時間・空間分散レーザー光の増幅・超短パルスへの自動的再構築の原理実証を行った。(宮永・川嶋グループ)

誘電体素子のレーザー損傷に関するデータベースを構築では、国内コーティングメーカと協力し、誘電体多層膜ミラーのピコ秒パルスに対するレーザー損傷耐性の現状を明らかにした。また、誘電体材料及び多層膜のナノ秒、ピコ秒、フェムト秒パルスに対する損傷メカニズムを明らかにし、高強度レーザー用高耐力光学素子への指針を示した。(藤田グループ)

上記で述べたレーザーは、T:サファイア発振器と一部の計測器、制御器を除き、全て独自開発したものである。現在、これらの成果は、文部科学省の光科学プログラム「融合光新創成ネットワーク拠点」の光源開発における Yb:ファイバー発振器と OPCPA、NEDO「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」の光源開発におけるファイバー増幅器に技術波及を行っている。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果(論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況等を含む)

本研究では、非同期光パラメトリックチャープパルス増幅(NOPCPA)と超短パルスの分散補償、搬送波包絡線位相(CEP)制御といった精密光制御を組み合わせることによって、世界最高レベルの数サイクルレーザー(ピーク出力:~30TW、パルス幅:~5fs、繰り返し周波数:10Hz)を実現することを目標とする。

主な研究成果として、①LD励起Ndガラスレーザをチャープパルス増幅動作させることにより、世界に例のないJ級パルスエネルギーのピコ秒近赤外・可視レーザを実現、これを励起源として、広帯域光パラメトリックチャープパルス増幅技術を用いることで、100mJ/pulse 以上の数サイクルパルスを達成すれば、世界最高出力の数サイクルレーザとなる。②光パラメトリック増幅の励起源として、Yb:YLFレーザ共振器構造を設計し、チャープパルス再生増幅器単体で 107mJ/pulse の世界最高出力を得た。③偏波合成した 915nm LD 励起による受動同期モード Yb ファイバ発振器を考案し、波長 1 μ m 帯で 21.6fs(6.6 サイクル)の世界最短パルス光の安定な発生に成功した。しかし、本研究で目標とされた 5fs, 30TW の「基幹装置」はまだ完成していない。本年度内完成が予定されているが、早期実現が望まれる。

研究成果については、欧文原著論文 20 件、国際会議における招待講演 9 件など、また、国内出願5件、海外出願1件がなされており、やや少なめであるが、概ね適切に行われた。

4-2. 研究成果の科学技術や社会へのインパクト、戦略目標への貢献

欧州 ELI プロジェクトで大規模な取り組みが開始された超高強度光科学や短波長コヒーレント光の生成と利用を切り開く超高速光科学などの先端光科学において、また、レーザー加工等の産業利用においても、高出力超短パルスレーザーの高度化技術は、ますます重要になっている。

本研究では、現在広く使われているチタンサファイアレーザーを超える性能のレーザーを実現するため、新たなアプローチである OPCPA を取り上げ、その実現に必要な諸技術を開発しており、その成果の科学的・技術的なインパクトは大きい。

4-3. 総合的評価

高出力超短パルスレーザーとして、現在主に使用されているチタンサファイアレーザーに代わる OPCPA レーザーシステムの開発が実施され、システム実現に必要な種々の基盤技術が開発された。これらを統合した「基幹装置」は完成していないが、これが実現されれば世界的に高く評価されるであろう。また、基幹装置開発と並行して、高出力超短パルスレーザーの新たなコンセプトや、高出力超短パルス小型ファイバーレーザーなど、今後大きく発展する可能性の高い新規技術も開発された。