

プログラム名：イノベーティブな可視化技術による
新成長産業の創出

PM名：八木 隆行

プロジェクト名：超広帯域波長可変レーザーの開発

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成28年度

研究開発課題名：

超広帯域電子制御波長可変レーザーの開発および特定波長選択によるレーザ

小型化技術の開発およびレーザ実用化技術の開発

研究開発機関名：

国立研究開発法人理化学研究所

研究開発責任者

和田 智之

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

本課題では、1) 超広帯域電子制御波長可変レーザの開発、2) 特定波長選択によるレーザ小型化技術の開発、3) レーザ実用化技術の開発に分けて展開する。

1) では、マイクロ可視化システム(プロジェクト5)で用いるレーザとして、電子波長可変レーザ(LD励起AOQスイッチNd:YAGレーザ)の第2高調波(532nm)とする完全空冷パルスチタンサファイア(TiSa)レーザを開発する。平成28年度は、非線形光学結晶を用いた波長変換法であるOPO(光パラメトリック発振)レーザの電子波長制御に取り組み、波長可変領域700~1300nmにて高速波長切り替え波長可変レーザを開発する。

また、生体可視化技術(プロジェクト1)で用いる大出力、高繰り返し波長可変レーザを開発する。平成28年度は、電子波長制御チタンサファイアの開発を継続し、結晶の冷却、高出力化に伴い発生する熱の冷却能力を向上する。最大出力は、繰り返し周波数1kHz、出力>1mJを達成する。波長可変域は700-950nmを目標とする。

2) では、>10mJ級の波長可変パルスレーザは、ランプ励起レーザとなり、大型・複雑な共振器の為にサイズが大きく高価格である。レーザシステムの簡便化、低コスト化、メンテナンス性を図る事が重要である。励起光源となるLD励起固体レーザは、電源の開発を理研が実施し、光学部分と波長可変固体レーザはメガオプトが開発する。平成28年度は、平成27年度の成果となる光導波路励起方式のLD励起固体レーザを、増幅器を連結する事で高エネルギー化を実現すると共に、1つのパッケージに入れた試作機の開発を完了する。LD励起固体レーザを1つのパッケージに入れた試作機の開発を修了する。仕様は、50Hz、400mJ@532nmを達成目標とする。なお、レーザの出力仕様は最終的な波長可変レーザの仕様に合わせて調整を行い、コストダウンを図る。

3) では、1)、2)で開発したレーザ技術をもとに、本研究開発の最終目標である、リアルタイム三次元可視化技術に利用される光超音波を発生するための超広帯域波長可変レーザの実用化技術の開発を行う。特に2)で開発した小型レーザを実現するためには、レーザのビームを高速に2方向に切り替えるシステムが必要である。平成28年度は、そのデバイスの開発を行う。ビームを切り替える際の、ポインティングの安定性は、波長可変レーザと組み合わせて、十分な出力が取れる範囲を計測し、決定する。2方向へのレーザのビームを切り替えるデバイスでは、光の切り換え速度1ms以内、光の損失2%以内を達成する。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

1) 超広帯域電子制御波長可変レーザの開発

マイクロ可視化システム(プロジェクト5)で用いるレーザ開発では、高速波長可変レーザを励起光源としたOPOの光学設計を行ったが、後述する理由から製作までには至らなかった。平成28年10月、マイクロ可視化システムの要求仕様のコンセンサスを得るプロジェクト2、5合同のシステム化検討会議を開催し、可視化対象と要求仕様を決定した。可視化対象は、美容での汎用性と市場性の観点から、酸素飽和度の可視化から血管と真皮中のメラニンの可視化とする事を決定した。

それに伴い、出力波長は脂質を検出対象とした 950-1300nm から、ヘモグロビンとメラニンを検出対象とした二波長に変更した。平成 29 年度年初に概念実証実験実施を開始できるように、ラマン発生や音響光学可変フィルタ、非線形波長変換等、複数構成の設計に着手し、最も可能性が高いと判断された構成から順に概念実証実験を開始できる準備を進めている。

生体可視化技術（プロジェクト 1）で用いる大出力、高繰り返し波長可変レーザ開発では、高出力化に伴い、排熱能力を増強するため、結晶ホルダを空冷から水冷に変更した。共振器構成に関しては、製造が容易な低回折効率素子においても損失が少なくなり、かつ取出効率を可変となることで、出力パルス幅を調整することができる構成を採用し、パルス幅可変動作を実証した。達成目標である 1mJ の達成見込みを得たが、励起 Nd:YLF レーザの故障により確認には至らなかった。修理が完了次第、主発振器と増幅器を組み合わせ最終出力の確認を行う予定である。

2) 特定波長選択によるレーザ小型化技術の開発

LD 励起固体レーザ開発の電源部開発においては、1つのパッケージに収める主発振器、増幅器、LD 電源、コントローラ、筐体を試作して、各ユニットの単体評価を行った。主発振器増幅器は単体評価継続中であるが、LD 電源、コントローラ、筐体は単体評価を完了し、1つのパッケージに収める準備が完了している。

H29 年度に主発振器、増幅器の単体評価完了後、全ユニットを筐体に搭載して、1つのパッケージとした LD 励起固体レーザを完成させる。

3) レーザ実用化技術の開発

ミリ秒での光路切り替えには機械的動作を伴うスイッチは採用できないため、2 方向への切り替えであることから、偏光を用いたビーム切り替え機の検討を進めた。電気光学素子を用いた偏光回転と偏光ビームスプリッタの構成を検証した。

2-2 成果

1) 超広帯域電子制御波長可変レーザの開発

マイクロ可視化システム（プロジェクト 5）で用いるレーザ開発においては、昨年度開発を完了した 700-1000nm に加えて新たに 1000-1300nm を発振する高速波長可変 OPO の光学設計を完了した。励起光源を高速波長可変レーザとすることで、1kHz で波長切り替えが可能で、最大出力 50 μ J が期待できる。検出対象が脂質からメラニンに変更されたため、OPO 製作を中止し、新たに 500-600nm 内二波長を出力するレーザの設計を行った。

生体可視化技術（プロジェクト 1）で用いる大出力、高繰り返し波長可変レーザ開発では、主発振器において繰り返し周波数 1kHz、波長範囲 700-950nm で発振が確認され、最大出力 0.8mJ を達成した。後段にある増幅器においては前年度に増幅率 5 倍が確認されており、達成目標である 1mJ は容易に達成可能である見込みを得ているが、レーザ故障により確認には至っていない。

2) 特定波長選択によるレーザ小型化技術の開発

LD 励起固体レーザの電源部に関しては、40V 500A 250 μ s 50Hz でダミーロードをドライブすることを達成した。これにより励起用 LD バー(2.2kW)6 個を同時にドライブすることが可能となり、目標である 50Hz 400mJ@532nm を実現する LD 励起出力の見通しが得られた。

また、筐体試作を完了し、各ユニットを搭載して外部通信(RS232C)での制御可能な事を確認した。

3) レーザ実用化技術の開発

電気光学結晶を用いた偏光回転素子と偏光ビームスプリッタを組み合わせた構成を提案した。制作及び実証実験は(株)メガオプト主導のもとに行われた。

2-3 新たな課題など

超広帯域電子制御波長可変レーザの開発におけるマイクロ可視化システム(プロジェクト5)で用いるレーザ開発では、計測対象変更と経済性(低コスト)が優先される事から、新規設計が必要になっている。未経験の構成を検討する必要があり、失敗リスク回避を目的として、方式が異なる複数構成の設計を進めることとした。

3. アウトリーチ活動報告

InterOpto 2016 展示会や理研シンポジウムなどを通じて、ImPACT プログラムと光音響イメージングの紹介を行ってきた。非侵襲で得られる血管像は総じて好評であり、ポテンシャル及び期待の高さが垣間見られる印象であった。