

## 平成 27 年度 委託研究開発成果報告書【公開版】

## 1. 研究開発課題名と研究開発代表者名

事業名		革新的技術による脳機能ネットワークの全容解明プロジェクト
研究開発課題名		新規半導体レーザー光源を用いた超解像多光子励起顕微鏡法の開発 (超解像多光子励起顕微鏡法のための高機能半導体レーザー光源の開発)
機関名		国立大学法人東北大学
研究開発 担当者	所属 役職	未来科学技術共同研究センター 教授
	氏名	横山 弘之

## 2. 研究開発成果の内容

## ① 半導体レーザーベースの高機能光源の開発

- 多光子励起用および STED 用のパルスレーザー光源の開発と目標性能実現

平成 26 年度に開発着手した同期動作の励起用近赤外パルスレーザー、および STED 用パルスレーザーに関して、前者の赤外パルスレーザーについては波長  $1\mu\text{m}$  帯半導体レーザーのシード光パルスの増幅により高出力化を行い、観測対象である生体試料の 2 光子励起ができるようにした。また、STED 用パルスレーザーについては、増幅した半導体レーザーパルスのパラメトリック波長変換により緑色～橙色の波長帯の光パルスの発生を試行した。このときのパラメトリック波長変換は、より具体的には、フォトニック結晶中のスーパーコンティニューム光発生を用いた。また、STED 用パルスレーザーの長波長化のために、深赤色帯の半導体レーザーの利得スイッチング動作の制御によるサブ ns 幅化とピークパワーのマルチワット高出力化に取り組んだ。ピークパワーはマルチワットには達しなかったが、1W を超えることができ平成 26 年度の 6 倍の値となった。以上の結果、半導体レーザーパルス光源の性能は、励起用の赤外パルスレーザーについては、最小パルス幅 2ps、繰り返し 10MHz、最大ピークパワー 100kW、最大平均光パワー 2W という目標値を実現することができた。また、STED 用パルスレーザーについては、パルス幅 2ns、繰り返し 1MHz、最大ピークパワー 1.2W、最大平均光パワー 1.2mW を得た。STED 用パルスレーザーの目標値（パルス幅 300ps、繰り返し 10MHz、最大ピークパワー 10W、最大平均光パワー 30mW）には及ばなかったが、STED に重要な光パルスのエネルギーで見ると、平成 26 年度の 130pJ に比較して約 1 桁大きい 1200pJ を得るに至った。

- パルスレーザー光源の小型実装化技術の開発

光源の性能向上と並行して、パルスレーザーの小型実装技術の開発をも進めた。具体的には、半導体レーザーを駆動する高速エレクトロニクス的小型・省電力化を図るとともに半導体レーザーをも含む光パルス発生器部分を 3kg 程度以下までの小型堅牢な筐体への実装を行った。このときに、複数の半導体レーザーを同期して利得スイッチングできる機能、および同期の時間遅延を調整できる機能を付加した。具体的には、光パルス発生器の電源ユニットと光パルス発生ユニットを分離することで、1つの電源ユニットで複数の光パルスユニットを駆動できるようにし、新たに試作した可変遅延電気信号パルス発生器により光パルスユニットの光パルス発生のタイミングを自在に制御

できるようにした。また、波長  $1\mu\text{m}$  帯の励起光パルスのための光増幅器については、これまでの空間光学系による構成に代えて、全光ファイバ接続による構成に進化させ、電源を除く光増幅器部分を  $10\text{kg}$  程度の軽量筐体に小型実装することを目標として、その設計と試作に取り組んだ。

- 多光子励起用パルスレーザー光源の多光子顕微鏡への適用支援：励起用の赤外パルスレーザーについては、代表機関である国立大学法人北海道大学（北海道大学）における生体脳深部バイオイメージングの実験での試験的使用を支援した。より具体的には、国立大学法人東北大学で開発した光パルス発生器および光増幅器につき、機能実証を行った後に北海道大学の使用者に対して動作に関する技術指導を東北大学にて行い、その後に機器を北海道大学に移送して多光子顕微鏡による深部イメージング機能の評価を行った。

## ② 超解像イメージングのためのベクトルビーム制御技術の開発

ベクトルビームの自己治癒効果は、障害物による光ビームの一部の遮蔽に対する回復力として見出されている。様々なベクトルビームのなかで、STED 顕微鏡においても超解像特性を導き出す能力があるダークスポットに関して集中して研究を進めた。明るいスポットよりもさらに小さなスポットを形成するベクトルビームの集光特性を計算と透過型液晶デバイスを用いた実験の両面から検討し、深部到達性の改善効果を検証するための基礎データとすることができた。