

## 審査の結果の要旨

氏名 戴高宇

本論文は、「Study on ultralow-intensity-noise mode-locked fiber lasers (モード同期ファイバレーザの超低強度雑音化に関する研究)」と題し、小型で長期安定性が高く実用性の高いパルス光源として期待されるファイバレーザに対して、特に誘導ラマン散乱(stimulated Raman scattering, SRS)顕微法への応用を見据えて強度雑音の低減を図った研究をまとめたものであり、7章より構成されている。

第1章は「Introduction」であり、研究の背景、動機、得られた成果について述べるとともに、本論文の構成を説明している。

第2章は「Raman microscopy」と題し、非線形光学、ラマン散乱、コヒーレントラマン散乱、自発ラマン顕微法、コヒーレントラマン顕微法の原理および理論がまとめられている。コヒーレントラマン顕微法については、コヒーレント反ストークスラマン散乱顕微法と SRS 顕微法について詳しく解説するとともに、これら2方式の比較がなされている。

第3章は「Laser sources for SRS microscopy」と題し、SRS 顕微法のためのレーザ光源についてまとめられている。具体的には、レーザ光源への要求条件として超低雑音性、波長可変性等を述べたのち、モード同期の理論を述べ、SRS 顕微法用の固体レーザ、ファイバレーザについて紹介し、従来のファイバレーザの強度雑音計測は 2 mW 程度の低い平均パワーでしか行われていないことを指摘するとともに、高い平均強度においてファイバレーザの強度雑音を低減することの重要性を指摘している。

第4章は「Ultralow-intensity noise fiber laser and intensity noise evaluation」と題し、ピコ秒ファイバモード同期ファイバレーザを用いて超低雑音性を実現した結果を報告している。具体的には、非線形光学ループミラーを用いてモード同期させることにより高安定なモード同期を実現するパルスファイバレーザに対して、チャープドファイバブラッグ回折格子(CFBG)を用いて大きな共振器内群速度分散を与えてパルス幅を広げることでパルスエネルギーおよび平均強度を高めた。また、10 mW 以上の比較的高い平均強度領域での強度雑音評価系を開発した。その結果、高平均強度領域において強度雑音の低い光パルスを発生できる

ことを実証した。

第5章は「Wavelength-tuning of low-intensity-noise fiber laser」と題し、第4章で開発したファイバレーザの波長を可変にする手法が提案され、その実証結果がまとめられている。具体的には、CFBGを圧縮することで発振波長を18 nm程度にわたってチューニングできることや、その際に低強度雑音性が保たれることを実証している。

第6章は「All-fiber noise suppression and signal amplification scheme」と題し、第4章で開発したファイバレーザの更なる高出力化と低雑音化を目指し、光増幅後に雑音低減を図った実験の結果がまとめられている。具体的には、Yb添加ファイバ増幅器で光増幅を行ったのち、非線形光学ループミラーを用いて強度揺らぎを抑えこむ試みを行ったが、雑音低減効果は1 dB程度にとどまることを明らかにした。さらに、ループミラーを液体窒素温度に冷やすことで雑音低減効果が改善されることを見出した。これは、雑音抑制の制限要因として **guided acoustic-wave Brillouin scattering (GAWBS)** の影響を示唆する結果である。

第7章は「Conclusion」と題し、本論文の内容を各章ごとにまとめ、得られた成果を総括している。

以上これを要するに、本論文は、誘導ラマン散乱イメージングへの応用を念頭に置き、パルスファイバレーザの超低雑音化を実現し、波長可変性を付与することで従来にない性能を実現するとともに、更なる超低雑音化に向けた制限要因を明らかにした成果をまとめたものであり、電子工学、特にファイバレーザ分野に貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。