

氏名	よし だ えい じ 吉 田 英 二
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3563 号
学位授与の日付	平 成 13 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	光ファイバレーザからの短パルス発生に関する研究

論文調査委員 (主 査)  
教 授 藤 本 孝 教 授 北 野 正 雄 教 授 立 花 明 知

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、超高速光通信システムを実現する上で必須となる光源を構築することを目的に、光ファイバレーザから波長  $1.5\ \mu\text{m}$  帯のパルス幅の短い光パルスを発生させる方法を考案し、種々のパルス発生技術を論じた結果をまとめたものであり、以下の7章からなっている。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的およびファイバレーザの特性について述べている。

第2章では非線形増幅ループミラーを用いた  $1.48\ \mu\text{m}$  帯半導体レーザ励起エルビウムファイバレーザの動作特性について記述している。まず、非線形増幅ループミラーが光ファイバ中で生じる自己位相変調効果により可飽和吸収体として動作することを示し、これを用いて受動モード同期ファイバレーザを構成し、このレーザから幅  $98\ \text{fs}$  の超短パルスを発生させることに成功している。出力パルスの繰り返しが不規則に変化するという本レーザに特有な現象を克服するため、レーザ共振器に副ループ共振器を取付ける方法を提案し、その有効性を実証している。

第3章では受動モード同期ファイバレーザの別の形態である非線形偏波回転を用いたエルビウムファイバレーザの発振特性について記述している。最初に、非線形偏波回転のスイッチング特性について述べ、本レーザから繰り返し  $56\ \text{MHz}$ 、パルス幅  $136\sim 145\ \text{fs}$  のトランスフォームリミットなパルスが発生できることを示している。さらに本ファイバレーザからの出力パルスを、ソリトン効果を用いてパルス圧縮することにより、 $52\ \text{fs}$  にまで短くすることに成功している。

第4章では強制モード同期ファイバレーザについて記述している。強制モード同期レーザでは共振器内に置かれた光変調器を高調波で動作させることにより、その出力パルスの繰り返しを  $\text{GHz}$  領域に高めることができる。本章では長期的な安定性を確保するため、強制モード同期レーザに高調波再生モード同期法を適用した新しいレーザを考案している。再生モード同期法とは、レーザの出力からパルスの繰り返しに相当するクロック信号を抽出し、そのクロック信号で光変調器を駆動する方法であり、レーザ共振器内の温度変動により共振器長が変動しても、変調周波数が共振器長の変化に追従した変調周波数に自動的に設定されるため、長時間にわたって安定にパルスが発生できる。強制モード同期には強度変調 (AM) モード同期と周波数変調 (FM) モード同期の2つがある。最初に、強度変調器を用いた高調波再生 AM モード同期エルビウムファイバレーザの発振特性について報告し、本レーザからは波長  $1.53\sim 1.56\ \mu\text{m}$ 、繰り返し  $10\sim 20\ \text{GHz}$ 、パルス幅  $1\sim 10\ \text{ps}$  のトランスフォームリミットなパルスが安定に発生できることを明らかにしている。繰り返し周波数は  $40\ \text{GHz}$  まで高くすることができ、 $40\ \text{GHz}$ 、 $900\ \text{fs}$  の出力パルスが得られている。次に、フェムト秒のパルスをレーザから直接発生させる方法として、変調器を2台同期して用いる方法を提案し、 $10\ \text{GHz}$  の繰り返しで  $750\ \text{fs}$  のパルスを発生させることに成功している。ファイバレーザの安定化については、自己位相変調効果と光フィルタを組み合わせることで強度に依存した損失が作りだされ、スーパーモード雑音が抑圧されることを実証している。さらに、再生モード同期レーザに位相同期ループ法を適用することにより、レーザの繰り返し周波数を外部信号に同期させ、一定にできることを示している。また、ファイバレーザのジッターは、 $10\ \text{GHz}$  の繰り返し周波数に対して  $100\ \text{fs}$  程度の低ジッターであることを確認している。最後に、位相変調器を用いた高調波再生 FM モード同期エルビウムファイバレーザの発振特性について報告し、安定なパルス

列が発生できるのは、自己位相変調効果がある場合、共振器内の分散が異常分散のときだけであること検証している。FMモード同期ファイバレーザからは繰り返し10 GHz、パルス幅2 psのトランスフォームリミットなパルスが得られている。

第5章では10 GHz 再生モード同期ファイバレーザを超高速光通信用の光源として使用し、光パルスの時間多重技術、ファイバ伝送路の分散補償技術、光多重分離技術を用い640 Gbit/s-60km および320 Gbit/s-120 kmの光伝送実験を実現している。安定かつ低ジッターなファイバレーザは、超高速光通信用の光源として非常に有効であることが本実験により実証されている。

第6章では超高繰り返しのパルス列が発生できる分周型高調波モード同期ファイバレーザ、および変調不安定性エルビウムファイバレーザについて記述している。最初に、分周型高調波モード同期ファイバレーザから繰り返し80~260 GHz、パルス幅1.0~1.4 psのパルスが発生できることを示すとともに、従来十分に理解されていなかった本モード同期技術のパルス発生機構について解析を行い、3次以上の分周型高調波モード同期ではパルス列の振幅が一定にならないことを明らかにしている。次に変調不安定性エルビウムファイバレーザの発振特性について記述し、レーザ共振器内にファブリーペローフィルタを挿入し、自由スペクトル領域を変調不安定性の利得が大きくなるような周波数に設定することにより、低い励起強度でパルス発振が起こり高繰り返しパルス列が発生できることを示している。このレーザから繰り返し115 GHz、パルス幅1.6 psのパルス列を得ることに成功している。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

#### 論文審査の結果の要旨

本論文は、数100 Gbit/s以上の時分割多重超高速光通信システムを実現する上で必須となる光源として、エルビウム元素をコア部に添加したエルビウムファイバを用いたモード同期光ファイバレーザを取り上げ、そのパルス発生基礎過程を明らかにし、特性の優れた幅の短いパルスが発生させるとともに、このレーザを光通信実験に適用してその有効性について研究した結果を纏めたもので、得られた成果の主なものは以下の通りである。

1. 非線形増幅ループミラーが光カー効果により過飽和吸収体として動作することを明らかにし、これを用いて受動モード同期レーザを構成し、波長1.55  $\mu\text{m}$ 、パルス幅100 fs以下のトランスフォームリミットなパルス (transform-limited pulse) をファイバレーザから初めて発生させることに成功した。さらに、非線形偏波回転を用いた受動モード同期レーザとパルス圧縮技術を用いることにより、繰り返し56 MHz、パルス幅52 fsの超短パルス発生を実現した。
2. 光変調器を用いた強制モード同期ファイバレーザに再生モード同期法を適用した新しいレーザを考案し、その動作機構を解析し、レーザを安定に動作させるための基本要因を明らかにするとともに、10~40 GHzの繰り返しで、パルス幅が1 ps以下のトランスフォームリミットなパルスを世界に先駆けて発生させることに成功した。
3. 再生モード同期ファイバレーザを光源として、伝送速度640 Gbit/sの世界最速の時分割多重光通信実験を行い、その伝送特性を評価して、その有効性を実証した。
4. ファイバレーザから繰り返し100 GHz以上の光パルスを発生させる方法として、分周型高調波モード同期ファイバレーザを構成し、従来十分に理解されていなかったパルス発生機構について解析を行うとともに、200 GHzの繰り返しを有するピコ秒パルスを発生させた。新しい変調不安定性ファイバレーザを考案し、115 GHz、1.6 psのパルス発生を実現した。

以上を要するに、本論文は超高速光通信用の光源の確立に向けて、エルビウムファイバレーザに種々のモード同期法を適用し、特性の優れた幅の短いパルスを発生させるとともに、このレーザを光通信実験に使用しその有効性を示したものであり、得られた成果は学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年12月5日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。