

Title	Ybファイバーパルスレーザーの高性能化に関する研究
Author(s)	住村, 和彦
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48580
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	住村和彦
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 21202 号
学位授与年月日	平成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電気工学専攻
学位論文名	Yb ファイバーパルスレーザーの高性能化に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 中塚 正大 (副査) 教授 佐々木孝友 教授 辻 毅一郎 教授 熊谷 貞俊 教授 伊藤 利道 教授 伊瀬 敏史 教授 杉野 隆 教授 西村 博明 教授 斗内 政吉 助教授 藤田 尚徳

論文内容の要旨

これまでのレーザー産業応用は、主にバルク型の固体レーザーを中心に進展してきた。近年では、Nd や Yb などの希土類元素を添加した光ファイバーを、レーザー利得媒質としたファイバーレーザーが注目を浴びるようになってきた。ファイバーレーザーは小型軽量、高効率、高安定、更には優れた空間モード制御、レーザーの長距離伝送可能という特長を持ち、様々なレーザー応用において優位である。広範囲なレーザー応用を考慮すると本格的なパルス動作のファイバーレーザーの研究開発を行う必要がある。著者は、エネルギー準位構造から熱発生が少なく高効率で高出力化が期待できる Yb 添加シリカガラスファイバーに着目し、ファイバー中の非線形光学効果やダメージの観点から開発が困難であるパルスファイバーレーザーの研究を行った。

本論文は以下の全 8 章により構成した。

第 1 章は、本論文に関する緒論であり本研究の背景及び目的を示した。ファイバーレーザーのこれまでの歴史と特徴について述べ、バルク型固体レーザーとの比較検討を行った。

第 2 章では、一般的な光ファイバーの仕組み及び Yb ファイバーレーザーについて述べた。他種の希土類添加ファイバーレーザーと比較し、Yb ファイバーの特性について述べた。

第 3 章では、Yb ファイバーレーザーのセルフパルス化現象を初めて見出すことにより行った制御素子を用いないシンプルなナノ秒パルス Yb ファイバーレーザーの研究開発について議論した。

第 4 章では、偏波保持型ファイバーを用いてレーザー共振器を構成することで、世界に先駆けて行ったピコ秒パルス Yb ファイバーレーザーの研究開発について述べた。

第 5 章では、これまでのバルク型モードロックレーザーの代替として開発した、小型で安定なフェムト秒パルス Yb ファイバーレーザー発振器について述べた。発振器後にはチャープ付きファイバーブラッググレーティングを初めて 2 段用いることで全シングルモードファイバー構成のチャープパルス増幅レーザーシステムの開発を行った。

第 6 章では、後方励起型の Yb ファイバー増幅器中で、初めて行った誘導ブリルアン散乱位相共役鏡動作 Yb ファイバーパルス増幅器の研究開発について述べた。

第 7 章では、これまで当研究室で用いてきたバルク型再生増幅器の代替として開発した、偏波保持型大モード面積

Yb ファイバーを用いたパルス前置増幅器の研究開発について述べる。また Yb ファイバーレーザーの将来展望及び様々な応用について考察した。

第 8 章では、結論として本研究で得られた成果についてまとめた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、申請者が課程在学中に行った Yb ファイバーパルスレーザーに関する研究成果をまとめたものである。レーザーの産業応用は主にバルク型の固体レーザーを中心に進展している。近年、希土類元素を添加した光ファイバーを利得媒質としたファイバーレーザーが注目を浴びようになっている。ファイバーレーザーは小型軽量、高効率、高安定、更には優れた空間モード制御、レーザーの長距離伝送可能という特長を持ち、様々なレーザー応用において優位である。本論文ではエネルギー準位構造から熱発生が少なく高効率で高出力化が期待できる Yb 添加シリカガラスファイバーに着目し、ファイバー中の非線形光学効果やダメージの観点から開発が困難であるパルスファイバーレーザーの研究を行った結果について示している。

第 1 章は緒論であり、本研究の背景と研究目的を示し、研究の価値を位置づけている。

第 2 章では、一般的な光ファイバーの仕組み及び Yb ファイバーレーザーについて基本パラメータについて説明し、伝搬特性、分散特性、損失特性について述べている。他種の希土類添加ファイバーレーザーと比較し、Yb ファイバーの分光特性、増幅特性について述べ、励起システム及び励起波長の検討を行っている。

第 3 章では、Yb ファイバーレーザーのセルフパルス化現象を初めて見出すことにより行った制御素子を用いないシンプルなナノ秒パルス Yb ファイバーレーザーを開発した結果を述べている。市販 Yb ファイバー増幅器を用いてファブリペロー型発振器及びリング型発振器を構成することにより、Yb ファイバーレーザーのセルフパルス化現象を世界で初めて見出している。セルフパルス化現象は、Yb による再吸収損失効果による可飽和吸収特性が影響していると考え、ファイバーを液体窒素で低温冷却することにより、再吸収損失がなくなり利得が高くなることを示し、セルフパルス化現象が消失することから、Yb ファイバー自身の可飽和吸収効果を初めて明らかにしている。

第 4 章では、偏波保持型ファイバーを用いてレーザー共振器を構成することで、世界に先駆けてモード同期ピコ秒パルス Yb ファイバーレーザーを開発した結果について述べている。平均出力パワー 6.4 mW、中心波長 1040 nm で 18 MHz の繰り返しで 250 ps のパルスを得ている。ファイバー型バンドパスフィルターを用いることにより波長は 1020 nm から 1080 nm まで可変とできることを示している。また、共振器内の分散補償に偏波保持型フォトニック結晶ファイバーを用い、モード同期ファイバーレーザーを開発し、繰り返し 7.2 MHz、平均出力 2.0 mW、パルス幅 500 ps の安定なモードロック動作を得ることができることを示している。

第 5 章では、従来のバルク型モードロックレーザーに代わるものとして、セルフ発振が可能なフェムト秒モードロック Yb ファイバーレーザー発振器及びファイバー CPA レーザーシステムの開発結果について述べている。発振器後にチャープ付きファイバーブラッググレーティングを初めて 2 段用いることで全シングルモードファイバー構成のチャープパルス増幅 (CPA) レーザーシステムの開発を行った結果について述べている。レーザー共振器内の群速度分散 (GVD) を変えることにより特異なパルス波形 (シミラーソリトン波形、キュビコン波形、マルチパルス波形等) を観測している。制御波長範囲を調整し、1025 nm~1065 nm の幅広い波長可変モードロックレーザー発振器を実現している。繰り返し周波数 26.3 MHz でパルスエネルギー 4.9 nJ、パルス幅 62.5 fs でバンド幅 55 nm を達成している。更に、発振器後に PCF を挿入することにより、950 nm~1200 nm まで広帯域化したスペクトルを実現している。

ファイバーシステムのパルスストレッチャーとして、チャープファイバーブラッグ回折格子を初めて直列に 2 段用いることで、数 10 cm のファイバー長で 1.4 ns までのパルスストレッチを達成している。その後 2 段の前置増幅器を設置し 356 mW まで増幅し、スロープ効率 60%、パルスエネルギー 13.5 nJ、ピークパワー 19.3 W を達成している。

第 6 章では、後方励起型の Yb ファイバー増幅器中で、初めて行った誘導ブリルアン散乱 (SBS) 位相共役鏡 (PCM) 動作 Yb ファイバーパルス増幅器の開発結果について述べている。レーザー媒質の SBS-PCM 動作により SBS の低閾

値化、光増幅、高ビーム品質化及び偏光の単一化を同時に達成する方式を提案し、その有効性を実証している。パルス幅 120 ns で SBS 閾値を初めて $0.3 \mu\text{J}$ (1.5mW) に低減化し、最高平均出力、 33mW でパルスエネルギー $6.6 \mu\text{J}$ を得ている。SBS 反射光をフィードバックすることにより、パルス幅 40 ns で最高平均出力 1 W を実現している。

第 7 章では、従来のバルク型再生増幅器の代替システムとして開発した偏波保持型大モード面積 (LMA) Yb ファイバーを用いたパルス前置増幅器の開発結果について述べている。偏波保持型の LMA ダブルクラッド Yb ファイバーパルス前置増幅器が小型で安定かつ増幅帯域の広い高出力 Yb ファイバーパルス増幅器であり、最高平均出力 6.6W 、最高エネルギー 10kHz 、 0.66mJ を実現している。また、LMA ファイバーの曲率を変えて増幅実験を行い、直線偏波 (LP) モードの制御可能なことを示している。将来のパルス増幅可能性を数値計算で確認し、高出力パルス増幅器の開発可能レベル予想をしている。ファイバーレーザーの高出力化において懸念されるファイバー中の熱解析を行い、除熱が重要であることを示唆している。

第 8 章は総括であり、本研究で得られた成果についてまとめている。

以上のように、本論文は高出力パルスレーザーとしてのファイバーレーザー開発を多面的に進め、ナノ秒からフェムト秒に至る各種のファイバー光学形式の新提案とその実証研究を実施し、非線形光学の応用にまで及び、小型化、高出力化の方向性を明確にし、新規のレーザー工学の開拓に大きく貢献している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。