

平成23年度「近接テラヘルツセンサシステムのための超短パルス光源の研究開発」 の研究開発目標・成果と今後の研究計画

1. 実施機関・研究開発期間・研究開発費

- ◆実施機関 住友大阪セメント株式会社(幹事者)、株式会社オプトハブ
- ◆研究開発期間 平成21年度から平成23年度(3年間)
- ◆研究開発費 総額376百万円(平成23年度 113百万円)

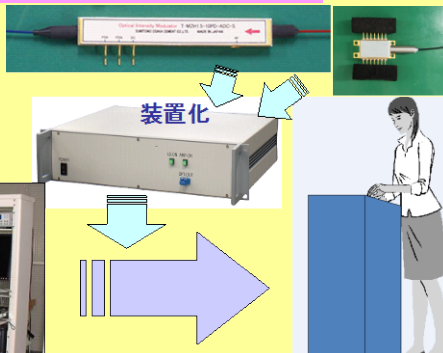
2. 研究開発の目標

光ファイバー通信素子として活用されている近赤外半導体レーザーやニオブ酸リチウム(LN)光変調器を用いることにより、オンサイトでの利用を想定した、小型で耐環境性に優れ、かつ汎用的な、テラヘルツ波による物質分光分析システムに使用可能な、超短パルス光源を開発する。

3. 研究開発の成果

研究イメージ

光通信素子を活用
・高信頼性・低コスト



小型・耐環境性に優れ、汎用的な
テラヘルツ波物質分光分析

A 高繰り返し短パルス光発生技術 B 超短パルス光発生・増幅技術
およびファイバピグテール化技術 C 超短パルス光源の装置化技術

研究開発成果：高繰り返し短パルス光発生技術(課題1)

高速なテラヘルツ分光測定を実現するために、5GHz以上の高繰り返し周波数が可能な短パルス光を発生することが課題である。

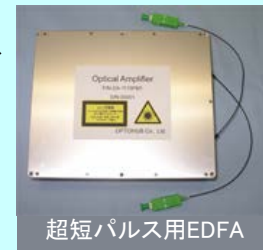
●本研究開発では、リッジ構造導波路を用いた**世界最高レベル**の低電圧LN光変調器を作製し、周波数帯域が300GHz以上におよぶ平坦光周波数コムと10GHz高繰り返し短パルス光源を実現した。



研究開発成果：超短パルス光発生・増幅技術(課題2、3)

繰り返し周波数が可変であることを特徴とする本方式の短パルス光源の出力光を、共振器を用いずにシングルパスで超短パルス圧縮及び増幅する方法が課題である。

●本研究開発では、ソリトン圧縮による超短パルス化技術と低波長分散EDFAによる光増幅技術を実現し、オールファイバ圧縮システムでは**世界最高効率**となる、パルス幅200fs、ピーク出力1kWを実現した。また、空間型可変分散補償器を用いてピーク出力2.5kWを達成した。



研究開発成果：ファイバピグテール化技術(課題3)

テラヘルツ分光測定においては、センサヘッドを超短パルス光源より独立させて使用範囲を拡張させるために、ファイバデリバリで励起光の供給する必要がある。

●光ファイバによる分散マネージメント技術を確立し、空間型分散補償器を用いない、ファイバピグテール型の光出力を実現した。

研究開発成果：超短パルス光源の装置化技術(課題4)

オンサイトでテラヘルツ分光測定を行うためには小型・軽量な可搬型光源の実現が必要となる。

●本研究開発では、装置を構成する光・電気デバイスと機械部品の徹底した軽量化と高効率放熱設計を両立することで**世界最軽量**となる10kg以下の重量を実現。
●本光源により1.5THzまでのテラヘルツ分光測定が可能であることが検証された。

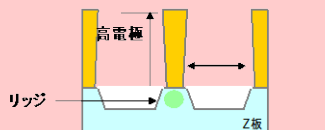


(課題1) 光コムを用いた短パルス発生技術 (課題2) 高ピーク出力化技術 の主な成果

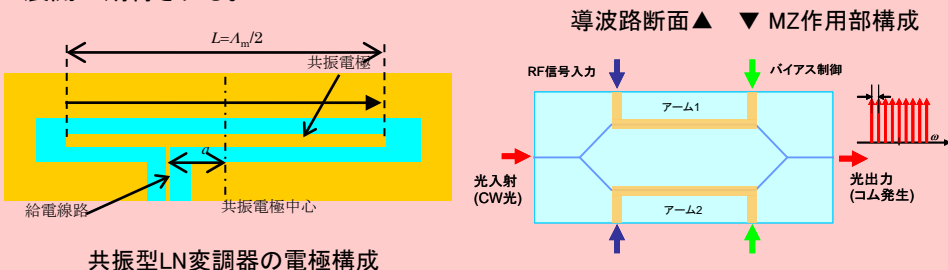
低電圧駆動LN光変調器の開発

◆LN光変調器(2電極構造)は導波路構造をリッジ型とし、RF電極からの電界を導波路内に集中させることで変調効率を上げ、低電圧駆動化を実現。10Gbps時に2.2VのV π 電圧を達成した。

◆独自の電極構造を持つ共振型LN光変調器の検討を行った。、20GHz帯でのパルサーとしての展開が期待される。



- リッジ構造による電界/光相互作用の強化
- 電極構造最適化によるマイクロ波損失の低減

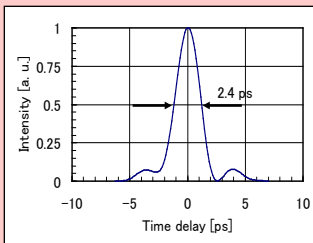
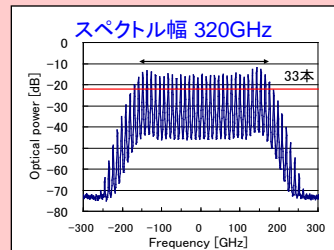


共振型LN変調器の電極構成

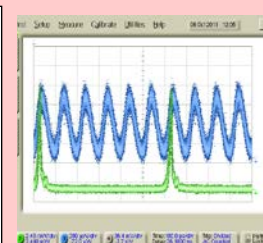
超平坦周波数コムと短パルス光の発生

◆スペクトルの平坦化条件を満たすようにLN光変調器の2つのアームにRF信号を印加し、広帯域のアップチャープド光周波数コムを発生した。

◆コム出力のチャープを1.3um用SMFにより分散補償し、短パルス光を発生。フーリエ限界と同等の2.4psの短パルス化を実現した。



短パルス光時間波形



パルスピックアップの状態

平坦光周波数コム

◆10Gbps Pulse Pattern Generatorにより短パルス光のピックアップを実現。最大64分周までを可能にし、150MHz~10GHzまでの繰り返し周波数を可能にした。

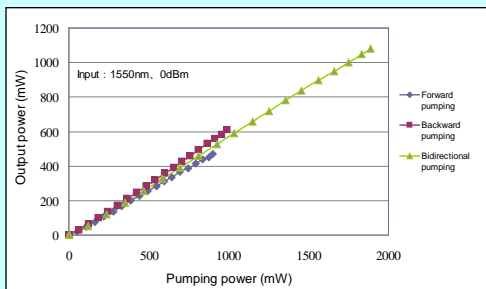
高出力EDFAの作製

◆パルス圧縮器で許容されるにおける最大ピーク出力が0.1kWであることから、当初構成を変更し、パルス圧縮器の前後にEDFAを配置する構成へと変更した。

◆後段に配置する高出力EDFAを試作した。波長1480nmの励起レーザを4台使用し、偏波合成しながら偏波保持EDFAの前方向と後方からの双方向励起を行い、最大で30dBmの出力を得た。



超短パルス増幅用30dBm EDFA

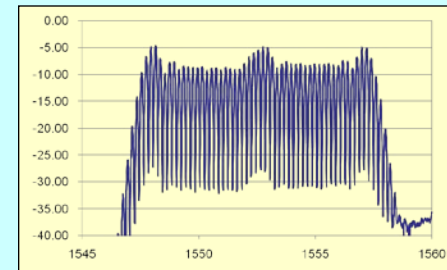


30dBm EDFA ゲイン出力特性

利得帯域の低波長分散化

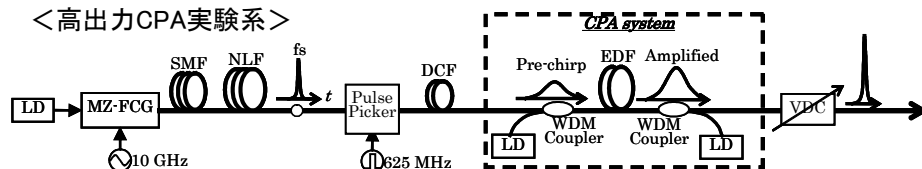
◆40nmにわたる帯域で利得平坦化(=低波長分散化)をおこない、超短パルス増幅に適したEDFAを作製した。利得ファイバ長を最適化し、利得の飽和領域において光増幅することで最大29dBmの出力で利得偏差1dBm/2nmを達成した。

◆作製したEDFAと回折格子型可変分散補償器を用いたチャープ増幅により2.5kWのピーク出力を獲得した。



平坦化されたEDFAの利得

<高出力CPA実験系>

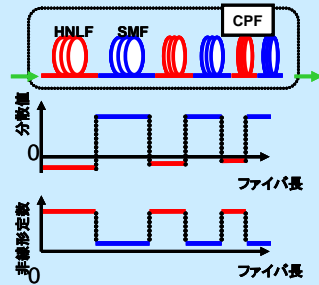


(課題3) 超短パルス光の生成技術 (課題4) 分光システムの概念検討 の主な成果

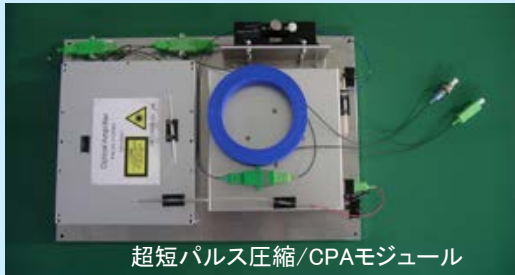
非線形圧縮による超短パルス発生

◆6段CPF(=Comb-like Profile Fiber)によるソリトン断熱圧縮により、短パルス光(2.4ps)を超短パルス光(192fs)まで圧縮した。

◆最短のパルス幅を実現するために短パルス光源部での分散補償ファイバ長を調整し最適化した(ファイバ長=800m)。



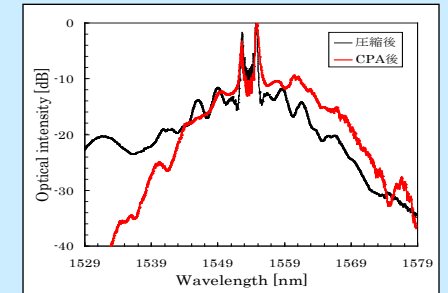
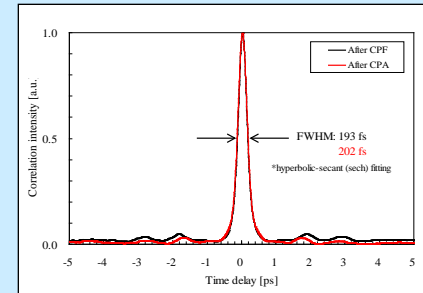
◆高ピーク出力発生用EDFAと併せて寸250×170×40mm、重量1kg以下の小型超短パルス圧縮・増幅モジュールを実現した。



超短パルス圧縮/CPAモジュール

全ファイバ型チャープパルス増幅

◆高ピーク出力発生用EDFAの前後にそれぞれDSFとSMFを接続し、オールファイバによるCPA(=Charp Pulse Amplifier)を構成。超短パルス光を伸ばしてEDFA内における高次非線形分散を回避し、1kW以上のピーク出力を獲得した。また、SMFの長さを1cmステップで調整することでフーリエ限界の領域までパルス光を再圧縮する技術を確認した。

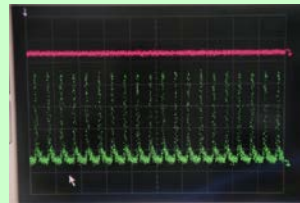


CPA前後での超短パルス光時間波形(左)とスペクトル(右)

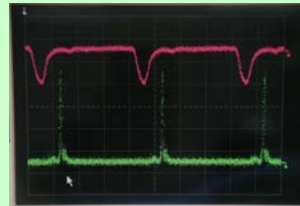
超短パルス光源の装置化

◆電気・光部品の小型化と部品レイアウトの効率化を図り、19インチラック3Uサイズで装置化を実現。運搬が可能となる10kg以下の装置重量を達成した。

◆装置のデジタル制御により、PCからパルス間隔、周波数掃引量のコントロールが可能となり、快適なユーザインターフェースを実現した。



基本パルス列(10GHz) ▲ ▼ 8分周(1.25GHz)

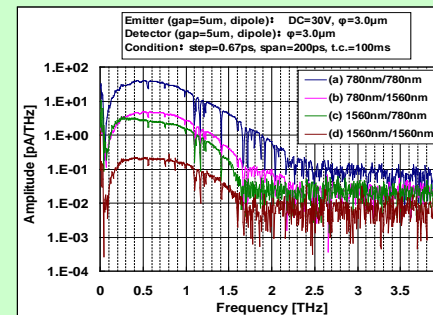


◆パルスピッカーによる分周(最大64分周)や任意パルス列の発生が可能であり、光通信及びマイクロ加工における加工用レーザーとしても応用が期待される。

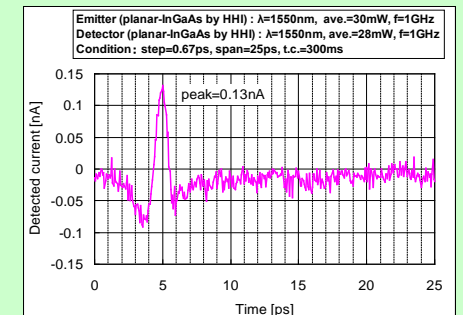
テラヘルツ分光システムの検討

◆各種のテラヘルツ発生・検出用アンテナや素子について検討を実施。低温成長GaAsアンテナを用いて1.55um帯でTHz-TDSが可能であることを確認した。

◆繰り返し周波数1.25GHzの高繰り返し超短パルス光でInGaAsアンテナを励起し、テラヘルツ波を発生。THz-TDSを構築し最大で1.5THzの分光帯域を実現した。



GaAsアンテナでのTHz波スペクトル



InGaAsアンテナによるTHz波発生検証

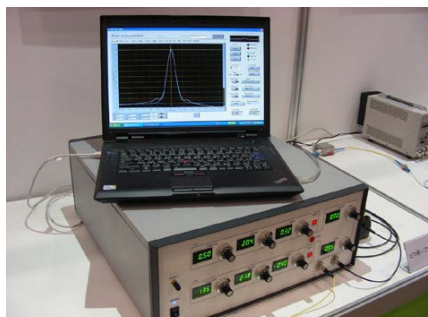
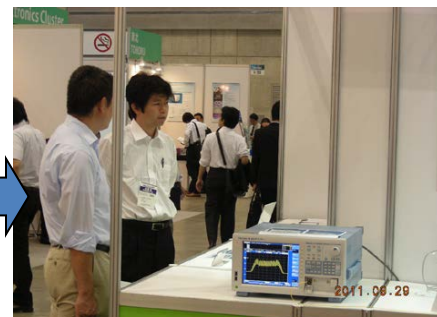
4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等) *上段:累計件数 下段:当該年度件数

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース	展示会	標準化提案
近接テラヘルツセンサシステムのための超短パルス光源の研究開発	28 (14)	1 (0)	9 (7)	16 (10)	0 (0)	12 (6)	0 (0)

5. 研究成果発表会等の開催について

(1) LaserExpo2011, InterOpto2011において短パルス光源を動態展示

短パルス光源の動態展示を実施し、多くの来訪者の反響を得た。特に平坦化光周波数コム安定度、波形のクオリティには驚きの声があがり、本光源の発展性・潜在能力の高さが示された。また、1.55um帯のみならずより短波長で製品展開して欲しいとの要望が強かった。



InterOpto2011出展の様子

(2) 低波長分散光増幅器、可変分散補償器、ピークパワーモニターを実用

開発した低波長分散EDFA、可変分散補償器、ピークパワーモニターをいち早く製品化し、国内学会併設展示会(2011年秋季応用物理学会、OPJ2011)に出展し、反響を得た。これらの製品の技術情報については同時に国際学会(MOC11、OFC2012、CLEO2012)においても発表を行い、国外に向けても技術力の高さと製品企画力を発信した。



OPJ2011に出展した可変分散補償器(左)とピークパワーメーター(右)

(3) 低駆動電圧LN光変調器を評価サンプルとして供給

開発した2電極型低電圧LN光変調器は、NICTおよび東北大学にサンプル供給し、現在評価を行っている。世界最高レベルの低駆動電圧を生かした光周波数コムを実現し、OFDM等新たな通信フォーマットの研究開発を行う。

6. 今後の研究開発計画

<光周波数コム/短パルス光源の実用化> 本光源の最大の特徴である高繰り返し性(>1GHz)と繰り返し周波数可変性を特徴とした光周波数コムおよび短パルス光源の製品化を進める。製品化の期間は2年~3年程度を想定している。特にこれまでの光周波数コムと一線を画した、キャリア光源、高周波信号発生器、パルスピックアップ回路を内蔵したオール・イン・ワン型の装置として実用化を目指す。

<加工用レーザへの展開> 現在市場の大部分を占めているモードロック型レーザに替わる加工用レーザとして、製品化を検討する。特に、加工用途に必要なパルス光の高出力化を進める。