

通信波長帯 25 GHz 繰り返しフェムト秒パルス発生

日大生産工 (学部) ○佐野 直哉 黒岩 芽生
和田 知也
日大生産工 (院) 杉山 大泰
日大生産工 石澤 淳

1. まえがき

現在、次世代移動通信6Gに関する研究が活発に行われている。6Gでは、5Gにおけるミリ波帯よりもさらに10倍以上高い周波数帯である300 GHz帯の利用が期待されており、実用化されると高速大容量化や低遅延、多数同時接続といった通信の高度化を実現できると予想されている。しかし、6Gでの利用が期待されている300 GHz帯の信号は、水晶振動子の周波数(10 MHz)を整数倍し発生させるため、水晶振動子の雑音も整数倍されてしまう影響で雑音が大きくなってしまふ。そのため、無線通信の大容量化における課題となっており、低雑音な300 GHz信号が求められている。そこで、我々は電気光学変調 (EO) コムを300 GHz信号の雑音読み取り装置として利用することで低雑音な光信号を発生させ、それを光电変換することによって低雑音な300 GHz信号を発生させることを目指して研究をしている。光から光电変換によって300 GHz信号を取り出す手法は、EOコムを使用した低雑音な300 GHzの光信号を直接電気信号に変換するため、前述した水晶振動子による信号発生よりも信号の低雑音化が実現できる。この手法を実現するには、ITU-Tが定めるグリッド周波数にも合致している25 GHzの信号を発生させ、その信号を波形整形器によって300 GHzに変換する必要がある。そこで、本報告では、300 GHz信号の元となる低ノイズな25 GHz繰り返しフェムト秒パルス発生について報告する。

2. EOコムを用いたマイクロ波発生法と課題

我々はEOコムを用いた25 GHz繰り返し周波数を持つ低位相雑音信号発生を実現した。EOコムとは、CWレーザーから出力された光を、RF信号発生器からの25 GHz正弦波信号で駆動する強度変調器と位相変調器によって変調することで発生する光コムである。EOコム

の特徴は、EOコムの繰り返し周波数が位相変調器の駆動周波数に依存するため、広範囲に繰り返し周波数を可変することができる点にある。一方で、EOコムは、RF信号発生器の位相雑音を取込み、それが自身の雑音となってしまうという課題がある。そのため、我々は $2f$ - $3f$ 自己参照干渉計を用いて信号をフィードバックし雑音を打ち消す手法を提案した¹⁾。この手法をより効率的に行うには、系全体の光路長を短くし、フィードバックにかかる時間を短くする必要があるため、波形整形器を用いた光路長の短縮を行った。

3. 実験方法および測定方法

まず、光通信用シミュレーションソフトウェアのVPIphotonics (VPIphotonics社)を用いたシミュレーションを行った。本シミュレーションのセットアップでは、実際の実験系と近い結果が得られるように各パラメータを実際の実験系と一致させた。まず、波長1552.5 nmの狭線幅レーザーをシード光源として用いた。次に、信号発生器出力からの

25 GHz 正弦波で駆動される強度変調器と位相変調器により、スペクトル帯域幅21 nmのフラットな25 GHzモード間隔EOコムを生成した。次に、2次の分散を制御するためのシングルモードファイバー (SMF) と光パルスを平均5 Wまで増幅する光増幅器を用いた。そして、高非線形ファイバー (HNLF) を用いて25 GHzのモード間隔を持つEOコムのスペクトル帯域幅を広げ、出力された信号をスペクトルアナライザーで測定した。

次に、シミュレーションによって得られた結果を実際の実験系にて検証した。実験セットアップを図1に示す。基本的にはシミュレーションと同様の構成だが、実験系では、2台の変調器でEOコムを生成した後に自然放出増幅光 (ASE) 雑音を低減するためのフィルタキャビティを、5 Wの増幅にはエルビウム添加ファイ

Communication wavelength band 25 GHz repetitive femtosecond pulse generation

Naoya SANO, Hiroyasu SUGIYAMA, Mei KUROIWA,
Tomoya WADA and Atsushi ISHIZAWA

パー増幅器 (EDFA) を用いた。また、パルスシェーパを用いて、2次3次の分散を精密に制御した。その後、25 GHzの繰り返し光パルスのパルス幅を市販の自己相関器 (Pulse check NX50、APE GmbH) で測定した。

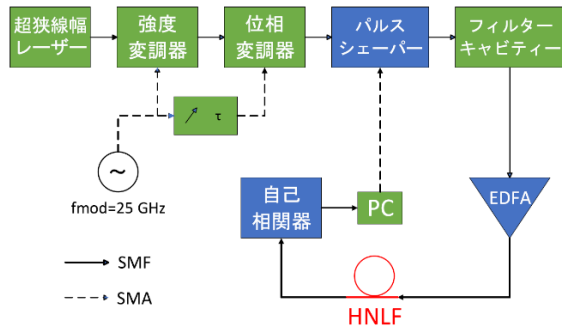


図1 実験図

4. 実験結果

図2に、VPIphotonicsでシミュレーションを行ったSMFを36.5 m、HNLFを0.53 mとしたときの光パルスと周波数スペクトル、周波数スペクトルの拡大図を示す。図2に示すように、36.5 mのSMFと0.53 mのHNLFを用いることで、25 GHzで322 fsのファイバー結合EOコムの発生に成功した。

次に、上記の条件を再現した実験系で測定を行った。図3に、HNLFを0.53 mとしたときの光パルスと周波数スペクトル、周波数スペクトルの拡大図を示す。図3に示すように、0.53 mのHNLFを用いることで、25 GHzで24 fsのファイバー結合EOコムの発生に成功した。

このように、シミュレーションと実験の両方において25 GHz繰り返しフェムト秒パルスの発生に成功した。

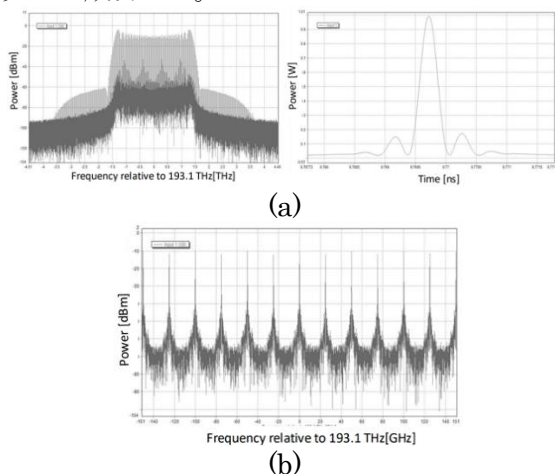
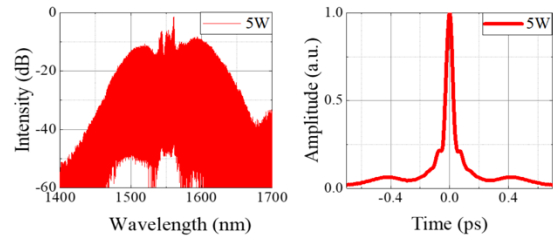
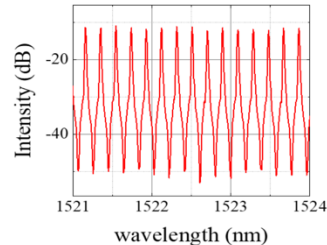


図3 (a) 36.5 m SMF, 0.53 m HNLFによる光パルスと周波数スペクトル
(b) 周波数スペクトルの拡大



(a)



(b)

図4 (a)0.53 m HNLFによる光パルスと周波数スペクトル
(b) 周波数スペクトルの拡大

5. 結論

波長分散を精密に制御することにより、24 fsのファイバー結合EOコムを生成した。この実験セットアップの光路長は10 m未満であり、CEO信号のフィードバックによるRF信号の制御帯域幅がさらに拡大し、低雑音のRF信号の生成が可能になることが期待できる。一方で、シミュレーションと実験のそれぞれで測定したパルス幅の間に13倍近い差が生じた。これは、VPIphotonicsの各種パラメータの調整不足により生じたものだと考えられる。そのため、パラメータの再度見直しを行う。また、将来的には、本研究で発生させた光パルスをSiNWに照射し、 $2f$ - $3f$ 自己参照干渉計に適した $2/3$ オクターブ帯域幅以上のSCスペクトルの生成を行う予定である。

参考文献

- 1) 石澤淳, 光周波数コムの最新状況と応用展開特集 2-3 電気光学変調コム, 電子情報通信学会誌 Vol. 103, 2020, pp.1-2
- 2) Yugo Kikkawa, Sub-30-fs fibre-coupled electro-optic modulation comb at 1.5 μm with a 25-GHz repetition rate, pp.1-3 Electronics Letters, 2023
- 3) NTT 技術ジャーナル, 300GHz帯無線トランシーバの省電力化に成功, 2020, <https://journal.ntt.co.jp/article/7912>, 最終アクセス日 2023/10/3