

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 ○中野 晶博 阿部 紘大
日大生産工(院) 佐野 直哉 黒岩芽生
日本大学専任教員 石澤 淳

1. まえがき

現在、次世代移动通信システム”6G“の研究が活発に行われ、現在使用されている”5G“の高速・大容量、低遅延、および、多数同時接続を更に高度化することが期待されている。5Gの28 GHz帯は水晶振動子の周波数(10 MHz)を整数倍する電気的手法で発生している。水晶振動子の周波数(10 MHz)を整数N倍すると、位相雑音は N^2 倍に大きくなるため、6Gの300 GHz帯は位相雑音が大きくなるため、大容量な無線通信が困難である。そこで、我々は光学的手法に着目し、周波数安定化した電気光学変調(EO)コムを光電変換することにより低雑音な300 GHz信号発生を目指している。本研究では、EOコムベースの25 GHz繰り返しフェムト秒光パルス発生について報告する。

2. 低ノイズマイクロ波発生自然放出増幅雑音除去

共振器構造の無いEOコムは自然放出増幅光(ASE)雑音が多く含まれる。この光を増幅すると雑音自体も増幅し、必要な25 GHz間隔の信号が埋もれてしまう。これを防ぐ為、Fabry-Pérot Filter (FP) を用い、ASE雑音を低減、低ノイズを実現する。FPは2枚の平面鏡または凹面反射鏡を向かい合わせた構造になっている。この共振器は共振条件を満たした時のみ光を透過する。さらに、Pound-Drever-Hall (PDH) を用い高フィネスの共振器に入射した後フォトダイオードで強度信号に変換、変調信号の位相を変えることにより直交成分と同相成分のヘテロダイン検波を行い、エラー信号をフィードバックさせ、レーザ周波数を安定させる。

下記Fig. 1に本実験に使用するFPを使用した光スペクトルを示す。

Fig. 1よりASE雑音を20 dB低減することが出来る。本実験では、上記のような低ノイズな光を使用する。

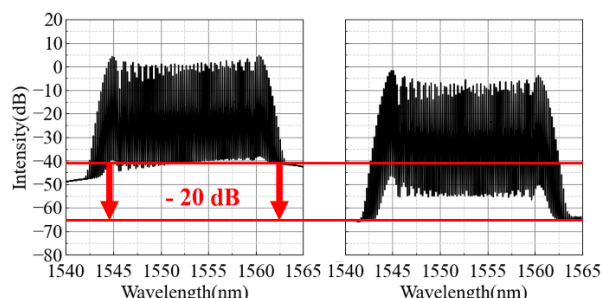


Fig. 1 FP前(左図)と後(右図)のEOコムスペクトル波形

3. 実験方法および測定方法

CWレーザ(中心波長: 1552.52 nm, 線幅: 7 Hz)をシード光源として用いた。信号発生機から正弦波信号25 GHzで駆動する強度変調器(IM)1台、位相変調器(PM)4台を用い、信号発生機の25 GHzの信号を印加する。これにより、25 GHz周波数間隔であるフラットなEOコムを生成する。上記のようにこの段階でのEOコムにはASE雑音が多く含まれている。ASE雑音を低減するため、FPを使用し20 dB以上減少させる。その後、PDHを用い高フィネスの共振器を通した光をフォトダイオードで強度信号に変換、変調信号の位相を変えることにより直交成分と同相成分のヘテロダイン検波を行い、エラー信号を生成する。さらにこの信号をレーザにフィードバックすることでレーザの周波数を安定させる。次に2次と3次の分散を制御するため、光パルスを平均5 Wまで増幅する光増幅器と光任意波形整形器(PS)、高非線形ファイバ(HNLF)を用いた。光増幅器にはエルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)を用いた。PSと78 mmの高非線形ファイバ(HNLF)では、2次3次の分散の高精度制御を行う。これにより、25 GHzの周波数間隔のEOコムのスペクトル帯域幅を広げる。測定に出力した信号をスペクトルアナライザと自己相関器(オートコリレータ)で測定した。また、オートコリレータでの測定結果をPCに出力し、PSにて分散の制御を行う。

Fig. 2に本実験での構成図を示す。

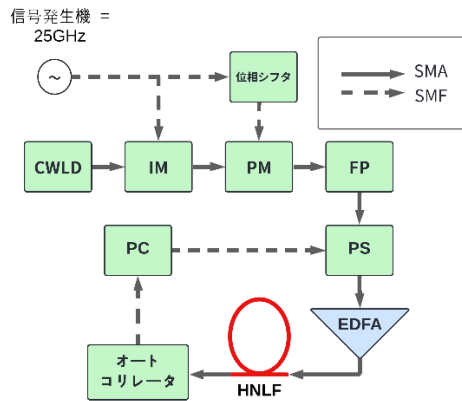


Fig. 2 実験構成図

4. 実験結果

FP後の波形をFig. 3に示す. PS後の光を平均5 WのEDFAで増幅し, HNLFで分散を細密に制御することによりスペクトル帯域幅115 nmの25 GHz周波数間隔EOコムの生成に成功した(Fig. 5). 分散制御とEDFAによる増幅を行う前(Fig. 3)と後(Fig. 5)で比較し105 nmスペクトル帯域が広がっていることがわかる. この時, 25 GHz周波数間隔が維持されている(Fig. 4). これは自己位相変調効果によりスペクトルが拡大している事を示している. PSによる2次と3次の分散の高精度制御時の光パルス幅測定をオートコリレータにて行った結果, 32 fs (ローレンツ関数フィット)の短光パルス化の測定に成功した(Fig. 6). なお, Fig. 6の自己相関波形(ACF)に見られるウィング成分は, 位相変調器の後段の強度変調器では取り切れない非線形なチャープ成分に基づくものである. このウィング成分は帯域フィルタを挿入して非線形なチャープ成分を除去することで取り除くことが可能である.

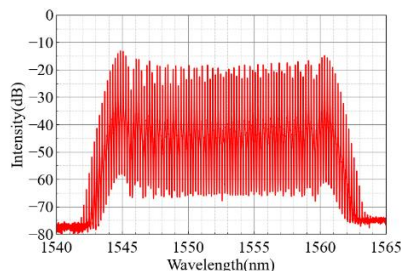


Fig. 3 EDFA(5 Wアンプ)前スペクトル

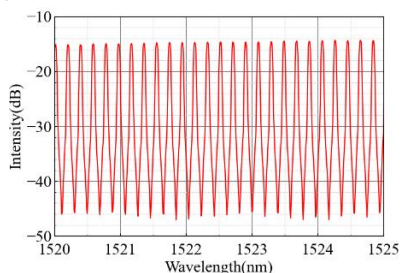


Fig. 4 HNLF後周波数間隔25 GHz

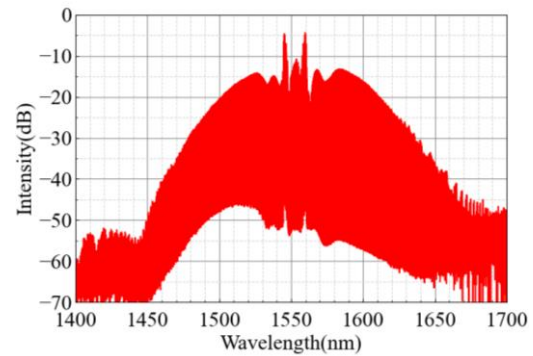


Fig. 5 HNLF後スペクトル

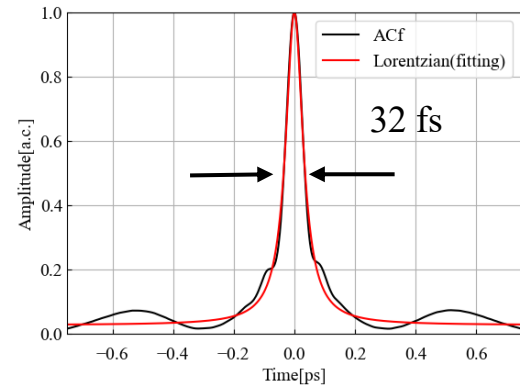


Fig. 6 HNLF後パルス幅(32 fs)

5. 結論

我々はFPによるPDHを使用し, 高フィネスの共振器に入射することで, 20 dB以上のASE雑音低減とレーザ周波数の安定に成功した. また, PSとHNLFによる2次および3次分散の高精度な制御を行うことで約100 nmの帯域拡大及び約30 fsの短光パルス発生に成功した. これにより, さらなる低ノイズ25 GHz間隔での短光パルス発生の可能性を示した. 今後, より短い光パルス発生を目標に研究を行うとともに, SiNWへの入射と $2f - 3f$ 自己参照干渉計を用いた低雑音な25 GHz繰り返しEOコムのキャリアエンベロープオフセット信号検出を目指す.

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>, (参照2024-10-10)