

光ゲート法を用いた電気光学変調コムによる広帯域光発生

日大生産工(院) ○黒岩 芽生 佐野 直哉
 日大生産工(学部) 中野 晶博 阿部 紘大
 日大生産工 野邑 寿仁重 石澤 淳

1.概要

光周波数の物差しとして開発された光周波数コムは光周波数測定や精密分光などで使用されており、さらなる高性能化が望まれている。本研究では光周波数コムの応用の一つとして電気光学変調(EO)コムを用い、信号発生器から低ノイズなマイクロ波信号発生を目指している。その実現には、EO コムを用いた広帯域光発生や、キャリアエンベロープオフセット(CEO)信号の検出が必要である。そこで、光ゲート(パルスピッカー)を用い、25GHz 間隔の EO コムから 1.25 GHz 間隔の EO コムを発生させ、光任意波形整形器(Phase Shaper)や高非線形ファイバ(HNLF)を用いることで広帯域光発生を目指す。今回、EO コムの発生、Fabry Pérot(FP)フィルタによる自然放射増幅光(ASE)雑音の低減などの広帯域化に向けた実験報告を行う。

2.提案手法

2.1 CEO信号検出

光周波数コムとは、周波数軸上に等間隔に並んだ輝線スペクトルのことである。EOコムとは、電気光学効果を用いて発生させた光周波数コムである。周波数軸上で等間隔な線スペクトルをもつ光周波数コムがゼロ周波数までの輝線スペクトルをもつと仮定したとき、ゼロに最も近い輝線スペクトル周波数はCEO周波数 f_{CEO} と呼ばれる。CEO周波数と繰り返し周波数 f_{rep} を用いて、光周波数コムのN番目のモード周波数 f_N は

$$f_N = f_{CEO} + N \cdot f_{rep} \quad (2.1.1)$$

で与えられる。CEO周波数と繰り返し周波数を同時に安定化することで光周波数コムの安定化が実現される。CEO信号の検出には自己参照干渉計を用いた自己参照法を用いる必要があり、光周波数コムの広帯域化が必須となる。

自己参照法において2次高調波を用いる場合、N番目のモード周波数の2次高調波 $2f_N$ は(2.1.2)のように記述できる。一方、2N番目のモード周波数 f_{2N} は式(2.1.3)のように記述できる。2次高調波 $2f_N$ と2N番目のモード周波数 f_{2N} を干渉させて検出器で受光した際に検出される差周波は式(2.1.4)のように記述でき、 f_{CEO} に他ならない。

$$2f_N = 2(f_{CEO} + Nf_{rep}) \quad (2.1.2)$$

$$f_{2N} = f_{CEO} + 2N \cdot f_{rep} \quad (2.1.3)$$

$$2f_N - f_{2N} = f_{CEO} \quad (2.1.4)$$

2.2 分散補償

分散とは光ファイバなどの伝送路において、光パルスが波長ごとに異なった速度で伝搬する現象である。時間領域では分散により光パルス幅の広がりが生じ、高速、大容量光通信において大きな問題となる。そのため、分散補償器を用いて分散を制御する必要がある。本研究では、主に Phase Shaper を用いて分散制御を行う。Phase Shaper は光スペクトルの強度、位相、群遅延を独立に高い精度で制御可能な光フィルタである。

2.3 光ゲート(パルスピッカー)

RF信号発生器からRF正弦波信号と同期した電気パルスジェネレータから生成されるRFインパルス信号によって強度変調器を駆動することによってパルスを抽出する。光ゲートを用いることによって、25 GHzの光パルス列から20パルスに1パルスの割合で光パルスを選択し、さらにASE雑音の制御を行うことが可能である。

3.実験方法及び測定方法

本研究ではCWレーザ(中心波長:1552.52nm, 線幅:7 Hz)を種光源とし、25 GHzの正弦波信号を強度変調器(IM)と4台の位相変調器(PM)へ印加することで約20 nmの平坦なスペクト

Broadband Light Generation by Electro-Optic Modulation Comb using Optical Gate Method

Mei KUROIWA, Naoya SANO, Akihiro NAKANO, Kodai ABE,
 Junia NOMURA and Atsushi ISHIZAWA

ル帯域幅を持つEOコムを発生させた。光ゲートからの電気パルスでレーザや光変調器を駆動することにより、超短パルス光の生成が可能である。今回、1.25 GHz 間隔の電気短パルスをIMへ印加することで25 GHz 間隔EOコムから、その帯域幅を維持したまま1.25 GHz 間隔EOコムの発生を行った。発生させたEOコムはASE雑音を多く含むため、FPフィルタを用いて雑音の低減を行った。

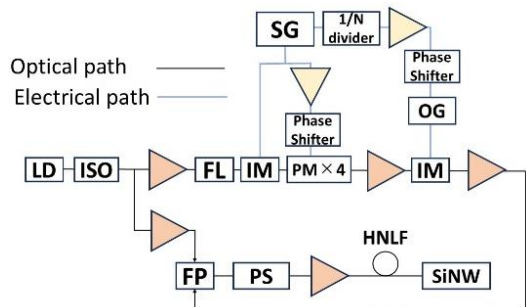


Fig. 3.1 実験配置図 LD: レーザダイオード, ISO: アイソレータ, FL: 波長フィルタ, SG: シグナルジェネレータ, PS: Phase Shaper, OG: 光ゲート, IM: 強度変調器, PM: 位相変調器, SiNW: シリコンナイトライド導波路, HNLF: 高非線形ファイバ, $\times$: アンプ.

4.実験結果

4.1 1.25 GHz間隔のEOコム発生

CWレーザをIMとPM4台によって変調させた際の光スペクトルをスペクトルアナライザ(OSA)で観測した[Fig. 4.1(a)]。25 GHz 周波数間隔の輝線スペクトルが信号対雑音比 40 dB 程度で観測されている。次に、光ゲートからの電気パルスで駆動させたIMを用いて1/20(=1.25 GHz)に繰り返し周波数が落とされたパルス列の光スペクトルをOSAで観測した[Fig. 4.1(b)]。OSAの周波数分解能以下である1.25 GHz 間隔の輝線スペクトルは25 GHzの場合[Fig.4.1(a)]と異なり各スペクトルが分離されずに一つなぎで表示された。残留している輝線スペクトルは25 GHz 周波数間隔の輝線スペクトルであり、改善の余地がある。

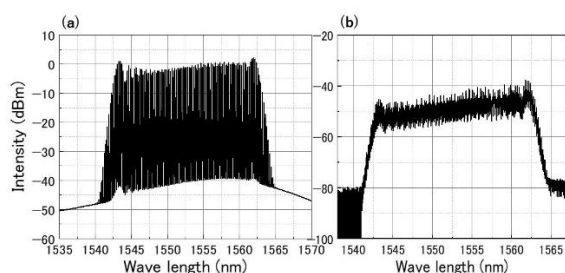


Fig. 4.1. 光ゲートを用いたダウンコンバート

1.25 GHz 周波数間隔を光検出器(PD)に透過させ、光ゲート後の光パルスをサンプリングオシロスコープで観測した[Fig.4.1(c)]。光周波数コム間隔が800 ps 間隔(1.25 GHz)光パルス列が発生していることが分かる。

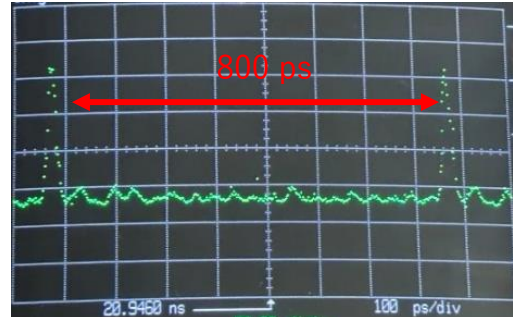


Fig. 4.1(c) 1.25 GHz繰り返しの光パルス

4.2 FPフィルタを用いたASE雑音の低減

FPフィルタを用いて、1.25 GHz 間隔のEOコムのASE削減を図った。FPフィルタ透過前のスペクトル図をFig. 4.2(a)、透過後のスペクトル図をFig. 4.2(b)に示す。Fig. 4.2(a)で観測されていた光スペクトルのオフセット、すなわち30 dB程度のASE雑音を削減することに成功した。

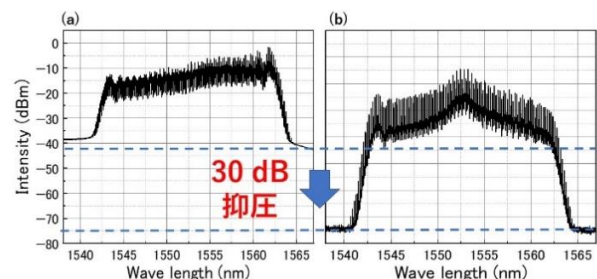


Fig. 4.2 (a) 25 GHzと(b)1.25 GHz間隔EOコムのスペクトル

5.まとめ

光ゲートを用いた25 GHz間隔のEOコムを1.25 GHz間隔へのダウンコンバートすることに成功した。さらに、FPフィルタを用いて30 dB程度のASE雑音の低減に成功した。

今後、HNLFの長さ調整、シリコンナイトライド導波路の活用により、さらなる広帯域化を目指す。

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.1097-1099