

## 多段シリコン変調器を用いた光コムの広帯域化

日大生産工(学部) ○北村 大和, 谷口 遼紀  
 東京電機大・工学(院) 吉川 優剛  
 日大生産工(院) 廣瀬 龍優  
 日大生産工 石澤 淳

### 1. まえがき

周波数軸で輝線スペクトル間隔が一定で観測され、この等間隔に並んだ様子が“くし”のように見えることから、光周波数コムと呼ばれている。光周波数コムは輝線スペクトルの周波数間隔が一定であることから、その光周波数コムは低周波数方向にコムを拡げることが仮想的に考えられる<sup>1)2)</sup>。ゼロに一番近い周波数部分をキャリア・エンベロープ・オフセット周波数 ( $f_{CEO}$ ) と呼ばれている。 $f_{CEO}$  をゼロ番目としたときの光周波数コムの  $N$  番目の周波数  $f(N)$  は

$$f(N) = f_{CEO} + Nf_{rep} \quad (1)$$

という式で表すことができる。ここでいう  $f_{rep}$  はモード間隔周波数である。モード間隔周波数及び光周波数コムを表した図をFig. 1に示す<sup>3)</sup>。

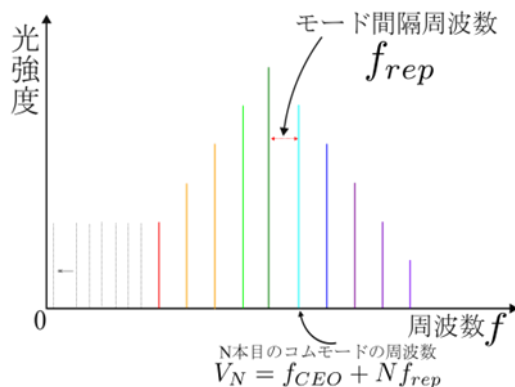


Fig. 1 モード間隔周波数及び光周波数コム

また、光周波数コムは低雑音なマイクロ波やミリ波を発生させることができるため、高速大容量無線通信への活用が期待されている。

我々は信号発生器に含まれるノイズを光周波数コムで読み取り、フィードバック制御により信号発生器のノイズの低減を実証した<sup>4)</sup>。その実証には光周波数コムの一種である電気光学変調(EO)コムのニオブ酸リチウム導波路型

光変調器(LN変調器)を用いた。さらに低ノイズなマイクロ波発生には光周波数コムの光路長を短尺化することが必要条件であることがわかった。そこで、我々は集積可能かつ、量産が容易であるシリコン変調器に着目した。本研究では、わずか2 mmという大きさの変調器であるシリコン変調器を用いて低ノイズなマイクロ波発生を目指している。

### 2. 提案手法

キャリアプラズマ効果を利用したシリコン変調器を使用し、カスケードに接続された3台のシリコン変調器を用いた広帯域25 GHz繰り返しのEOコムを発生させる。キャリアプラズマ効果とは、媒質が光を吸収することによりキャリアが励起してキャリア密度が増大し屈折率が変化する効果のことである。

Fig. 2は本実験で使用したシリコン変調器である。

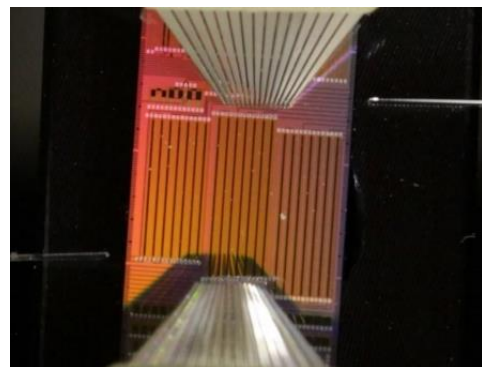


Fig. 2 シリコン変調器

### 3. 実験方法および測定方法

実験配置図をFig. 3に示す。本実験では1552.5 nmのCWレーザーを光源とし、先球ファイバを通じてシリコン変調器で変調させる。レーザーを通した導波路部分にRFアナログ信号発生器とRF増幅器を用いて25 GHzのRF信号を

Broadband optical comb using multistage silicon modulator

Yamato KITAMURA, Yugo KIKKAWA, Ryouyu HIROSE,  
 Haruki YAGUCHI and Atsushi ISHIZAWA

印加させる。直流電源を用いてシリコン変調器に6 V印加する。シリコン変調器を通して出た光は光スペクトラムアナライザで観測する。

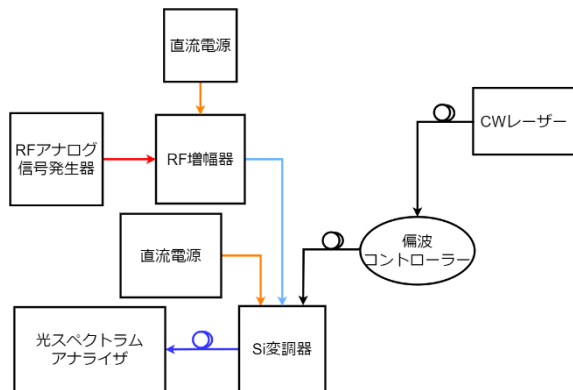


Fig. 3 実験配置図

#### 4. 実験結果および検討

実験の結果をFig. 4、Fig. 5に示す。Fig. 4は、RF信号発生器で25 GHzのRF信号を印加し、1台のシリコン変調器を用いて変調させたものである。

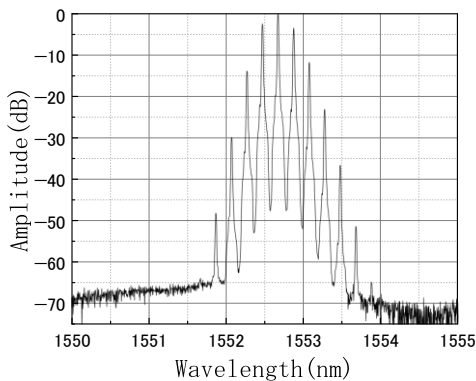


Fig. 4 シリコン変調器1台の光周波数コム

一方、Fig. 4は、RF信号発生器で25 GHzのRF信号を印加し、3台のシリコン変調器を用いて変調させたものである。Fig. 3は帯域幅がおおよそ2 nmほど広がっているのに対し、Fig. 4はおおよそ3.5 nm広がっており広帯域化されていることを観測した。また、Fig. 3、Fig. 4共に中心波長帯を中心として左右非対称になっていることが観測できた。これはキャリアプラズマ効果によるものであると考えている。キャリアプラズマ効果によって、変調する際に位相のみでなく強度も変調されるため、左右非対称なグラフになっている。

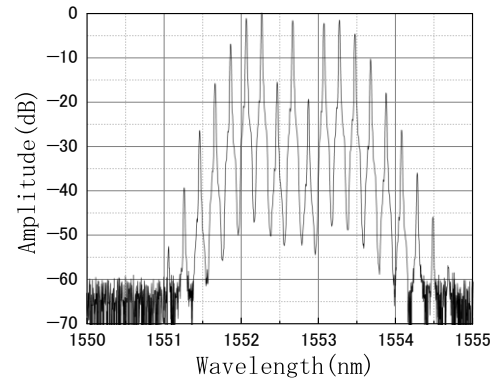


Fig. 5 シリコン変調器3台の光周波数コム

#### 5. まとめ

今回、シリコン変調器を用いて光コムの広帯域化を実現することができた。さらなる広帯域化を実現できるように今後も多段化を進めていきたいと考える。また、多段化と同時に短パルス化も実現できるようにさらに研究を進めていく。

#### 参考文献

- 1) 山下真司, 光ファイバ通信・計測のための光エレクトロニクス, 数理工学社, (2022) pp156-158
- 2) 稲場肇, 中嶋善晶, 美濃島薫, 洪鋒雷, 大苗敦, 中沢正隆, 松本弘一, モード同期ファイバーレーザーによる広帯域光コム発生および光周波数計測, (2008), [https://www.jstage.jst.go.jp/article/ljsj/36/Supplement/36\\_26/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ljsj/36/Supplement/36_26/_article/-char/ja/), (参照 2023-10-06)
- 3) 美濃島薫, 精密長さ計測のための光コムによる干渉計測, <https://annex.jsap.or.jp/photronics/kogaku/public/37-10-kaisetsu3.pdf>, (参照 2023-10-06)
- 4) Yugo Kikkawa, Atsushi Ishizawa, Rai Kou, Xue junXu, Koki Yoshida, Tai Tsuchizawa, Takuma Aihara, Tadashi Nishikawa, Guanwei Cong, Kenichi Hitachi, Noritsugu Yamamoto, Koji Yamada, Katsuya Oguri, Sub-30-fs fibre-coupled electro-optic modulation comb at 1.5 $\mu$ m with a 25-GHz repetition rate, (2023), <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1049/ell2.12830>, (参照 2023-10-09)