

シリコン変調器を用いた光周波数コム発生の研究

Optical frequency comb generation using silicon modulators.

日大生産工(院) ○廣瀬龍優 吉川優剛
日大生産工 谷口遼紀 北村大和
指導教員 石澤淳

1. 研究背景

光周波数コムとは、等間隔に並んだ櫛状の周波数スペクトルを持つレーザーである。周波数成分を GPS などの周波数標準器に同期させることで、高精度な標準レーザーとして、長さの国家標準に採用されている。光周波数測定、長さ計測、テラヘルツ波発生を始め、物性評価や分光分析などの光源として幅広く利用することができる。

我々は複数の周波数ギアを持つ光コムが光(サブ PHz)からマイクロ波帯(MHz)にわたる広帯域な周波数ギャップを繋ぐ架け橋の役割を担うと考える。マイクロ波やミリ波を遥かに凌駕する精度で制御可能な光の周波数ギアの精度が向上できれば、マイクロ波やミリ波の周波数ギアも同様な正確な周波数ギアとして制御できるため、最終的に低雑音なマイクロ波が発生できる。最近、我々は、マイクロ波信号の位相雑音の大きさと電気光学変調(EO)コムの光路長には比例関係があることを見出した。現状の LN 変調器ベースの EO コム方式はファイバー・空間光学系が混在しており、光路長が長尺化し、マイクロ波信号発生器の制御帯域の拡大が困難である。制御帯域の増加に比例して、位相雑音を抑圧する制御回路のゲインが増加し、その結果として位相雑音を大幅に低減できることが分かっている。そこで、光路長短尺化のために、EO コム発生で用いている光変調器の短尺化に着目した。従来の EO コム発生は電気光学変調効果を用いた LiNbO₃ 変調器による EO コム発生であった。ポッケルス効果による屈折率変化を利用しているため、EO コム発生の効率は良いが、光路長の短尺はできない。一方、キャリアプラズマ効果による屈折率変化を利用

するシリコン変調器(Fig. 1)はEO コム発生効率が低い、CMOS 材料で集積化可能であるため、オンチップ集積可能なシリコン変調器を用いた EO コム発生を行った。

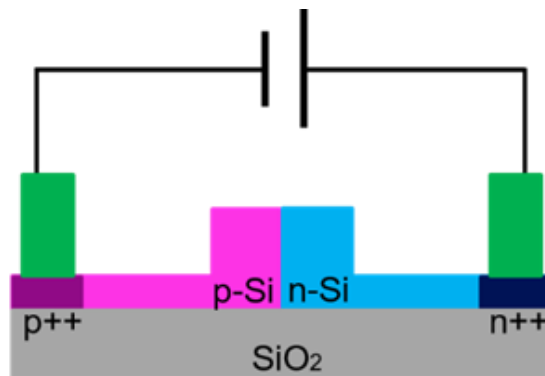


Fig. 1 シリコン変調器概略図

2. 研究目的

今回の実験はシリコン変調器を使用し、電圧を印加した状態での波形を観測し、光周波数コムの発生を目指したものである。

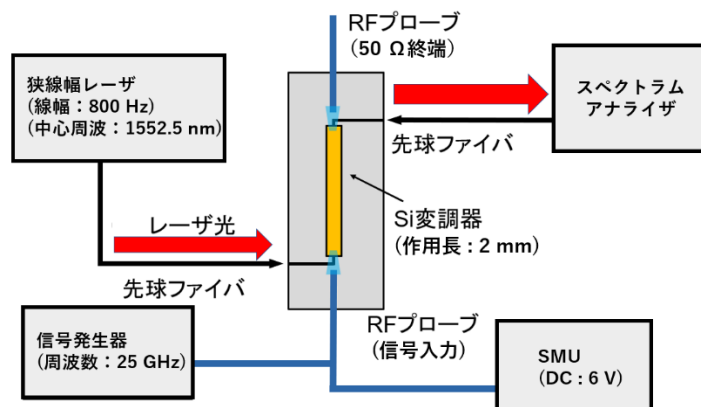


Fig. 2 実験配置図

Optical frequency comb generation using silicon modulators.

Ryouyu HIROSE, Yugo KIKKWA, Kitamura YAMATO, Haruki YAGUCHI, Atsushi ISHIZAWA,

実験配置図を Fig. 2 に示す。CW 半導体レーザー(線幅: 800 Hz, 中心波長: 1552.52 nm)を種光源とし、先球ファイバーによって導波路に TE モードで空間結合した。先球ファイバーは 3 軸自動調芯ステージ上に設置した V 溝ホルダーに設置され、自動調芯プログラムを用いて最適な空間結合位置を決定する。1 台の Si 変調器(長さ 2 mm, 幅 0.2 mm)に、RF 信号発生器からの周波数 25 GHz、出力 +26 dBm の正弦波信号を RF プロブによって印加し、EO コム発生を行った。先球ファイバーに狭線幅レーザー(800 Hz、中心周波数 1552.5 nm)を通し、シリコン変調器に RF プロブを用いて信号発生器から周波数 25GHz の信号を印加し、反対射出側の先球ファイバーから通過捕集したレーザーを受け取り、その EO コムのスペクトル波形を光スペクトルアナライザーで観測する。

3. 実験結果

この方法で実験・計測を行ったところ、光周波数コムの発生に成功した。以下の図は観測できた光周波数コムの図である。

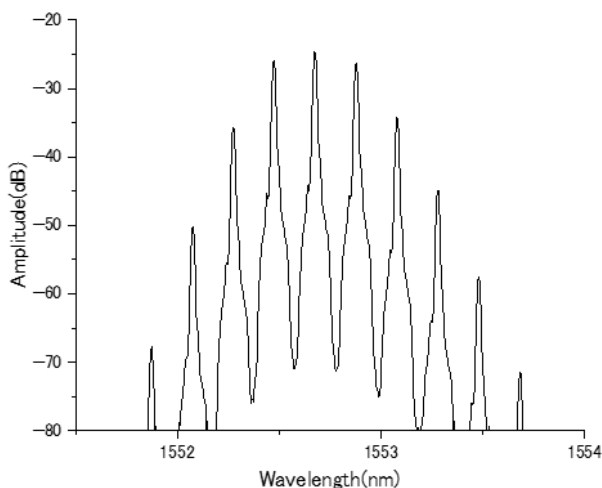


Fig. 3 実験により得られた光周波数コム

Fig. 3 にシリコン EO コムの周波数スペクトルを示す。キャリアプラズマ効果を用いたシリコン変調器の位相変調により 25 GHz 間隔のサイドバンドの発生を確認した。

図の中心に見える棘のようなものが光周波数コムである。これまでの光周波数コムの発生方法は、

モードロックレーザーのレーザーキャビティの往復時間によって時間的に分離された連続した光パルスを生成する。このようなパルス列のスペクトルは、レーザーの反復速度(往復時間の逆数)によって分離された一連のディラックのデルタ関数に近似しうる。この一連の鋭いスペクトル線は、周波数コム、または、周波数ディラックコムと呼ばれる。光周波数コムの生成に使用される最も一般的なレーザーは、100 MHz~1 GHz 繰り返し速度を有する。

4. 考察

本研究は、シリコン変調器のキャリアプラズマ効果による屈折率変化を利用し、光コム発生が可能であることを示した。また、今後、CMOS 材料を用いた半導体増幅器や光検出器等と融合させることで光周波数コムのオンチップ集積化への道筋をつけることができた。更に、シリコン変調器を用いたことにより、光路長を短尺化でき、位相雑音の更なる低減できる。また、シリコン EO コムによる集積化が実現できれば、光周波数コムの小型化、省電力化、及び、ロバスト化に貢献可能である。

今後の展望としては、入力レーザーの出力調整や、先球ファイバーの焦点距離、装置の拡充、および、繰り返し周波数条件の最適化、シリコン変調器の台数増加などを行い、より広いスペクトル帯域幅の光周波数コムの発生を目指す。

参考文献

- (1) R. A. Soref and B. R. Bennett :
“Electrooptical effects in Silicon,”
IEEE J. Quantum Electron., QE-23, pp. 123-129, 1987
- (2) ITU-T Recommendation G. 694. 1,
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-200206-I/en>