

シリコン変調器コムにおける繰り返し周波数依存性

日大生産工 (学部) ○谷口 遼紀 北村 大和
 東京電機大・工 (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

光周波数コムとは、等間隔に並んだ複数のモードからなる輝線スペクトルをもつ光のことである。モードが高精度で等間隔に並んでいることから、光のものさしと呼ばれている。光周波数コムを用いることで、より雑音の少ないマイクロ波・ミリ波発生ができるため、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(SG)に含まれるノイズを光コムで読み取り、フィードバック制御によりSGのノイズ低減を実現したり、更に低ノイズなマイクロ波発生には光コムの光路長を短尺化することに必要条件であることが分かった。そこで集積可能なSi変調器に着目している。

CW半導体レーザーからの出力光を種光源として、(SG)にて、位相変調をかけることによって、EOコムの発生に成功した。本報告では、シリコン変調コムにおける繰り返し周波数依存性について報告する。

2. 提案手法

光周波数コムは極めて高精度なモードを持っており、それぞれの輝線スペクトルが等間隔に並んでいる。スペクトルにおいてn番目のモードの持つ周波数は、スペクトル全体のズレを f_{rep} としたとき式(1)によって定まる。

$$f_n = n \cdot f_{rep} + f_{ceo} \quad (1)$$

この式(1)より光コムの周波数間隔は繰り返し周波数 f_{rep} に依存する。そのため、SGにてSi変調器に繰り返し周波数を与えたときのスペクトルの状態及び、周波数の変化毎に得られるスペクトルの遷移を見ることで、Si変調コムにおける繰り返し周波数依存性について検討することができる。また、本実験にて得られたスペクトルを用いて、各モード間の間隔も確認することで繰り返し周波数とスペクトルにどのような関係性や変化があるのかも同時に検証する。

3. 実験方法および測定方法

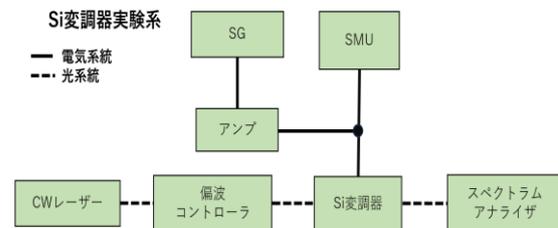


Fig. 1 実験系

実験図をFig. 1に示す。波長1552 nm帯、強度12 dBmのCWレーザーを種光源としSi変調器へ入射。Si変調器の導波路一台にSGを用いて位相変調をかけ出力光のスペクトルをスペクトラムアナライザにて確認し、繰り返し周波数の変化に対し、スペクトルにどのような変化が出ているか確認する。なお、この際、SGからの出力信号はRFアンプにより増幅を行う。データは繰り返し周波数が25, 22, および18 GHzのときの周波数の光スペクトル計測を行う。これらの結果を比較することでSi変調コムにおける繰り返し周波数依存性を検討する。今回、繰り返し周波数6-25 GHzの範囲にて測定を行ったが、アンプの対応周波数の関係上、繰り返し周波数と周波数毎に変えている。これは周波数ごとにRFで加えられる強度の限界が決まっているため、これよりも強度を上げてしまうと正常なスペクトルが得られなくなるためである。また、Si変調器は最大3台あり、台数が増えるにつれ位相変調量が伸び、より大きな変調をかけることができる。今回は導波路が最も短いSi変調器1台を用いたときの周波数依存性について報告する。

4. 実験結果および検討

Fig. 2に25 GHz, Fig. 3に15 GHz, Fig. 4に10 GHz, Fig. 5に6 GHzの繰り返し周波数でSGにて位相変調をかけたときのSi変調コムのスペクトルを示す。

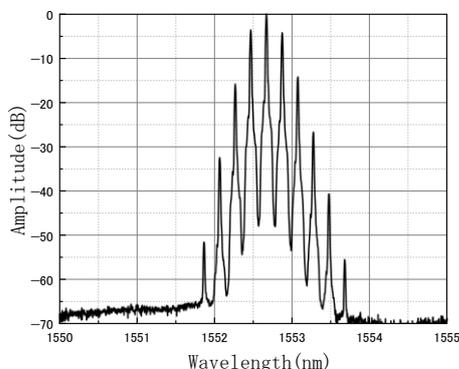


Fig. 2 25 GHz時のスペクトル

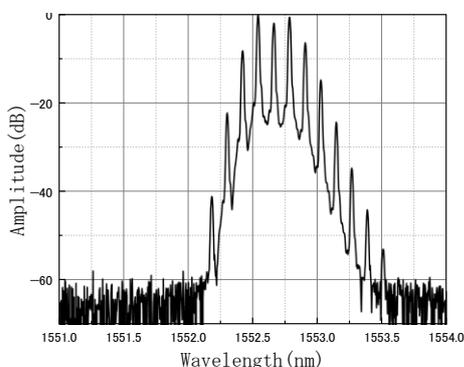


Fig. 3 15 GHz時のスペクトル

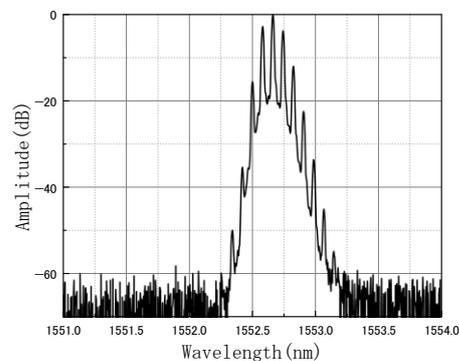


Fig. 4 10 GHz時のスペクトル

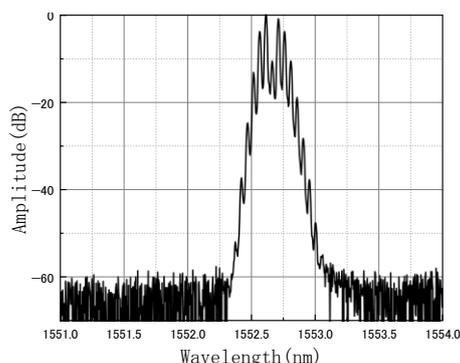


Fig. 5 6 GHz時のスペクトル

これら4つの図を比較すると、繰り返し周波数の低下に応じてコムの間隔が狭まっていることが確認できる。

各図のSN比を見ると、繰り返し周波数が低下するにつれSN比が低下しているように見えるが、これはスペクトルアナライザの分解能によるもので、実際にSN比の低下は生じていない、中心波長を基準としたとき、スペクトルが非対称になるのは、キャリアプラズマ効果による強度変調がSi変調器内で生じているためと考察する。キャリアプラズマ効果とは、媒質中のキャリアが増加し、媒質の屈折率が低下する現象のことで、媒質の屈折率の変化を利用して変調を行うSi変調器においてはこの効果の影響を顕著に受ける。左図より読み取れるコム間距離は、どの繰り返し周波数のときも、繰り返し周波数と一致していた。したがって、SGの設定繰り返し周波数がコムの間隔に合致していることが確認できる。

5. まとめ

EOコム周波数可変を実現した。Si変換コムにおいて繰り返し周波数がコムにおけるモード間の距離を定めていると言えることから、Si変調コムの周波数依存性を利用すると同時に、使用する種光源を変更し、中心周波数を変えることにより任意の波長を取り出すことが可能になると言える。今後、中心周波数と繰り返し周波数帯域を10 MHzから30 GHzまで変えることでどの程度まで周波数可変が可能か検証をするとともに、Si変調器でより広い範囲の波長を得られるようにしたい。今回はSi変調器において導波路が最も短い部分を用いたときの繰り返し周波数特性について検証を行った。導波路が最も長くなるSi変調器3台を用いたときの周波数依存性について今後検証を行う。

参考文献

- 1) A. Ishizawa, "Optical-referenceless optical frequency counter with twelve-digit absolute accuracy", (2023), <https://www.nature.com/articles/s41598-023-35674-8> (参照 2023-10-09)
- 2) K. Minoshima, "精密長さ計測のための光コムによる干渉計測", (2008), <https://annex.jsap.or.jp/photronics/kogaku/public/37-10-kaisetsu3.pdf>, (参照 2023-10-09)
- 3) K. Yamada, "シリコンの非線形光学効果とその応用", (2008), <https://annex.jsap.or.jp/photronics/kogaku/public/37-01-kaisetsu5.pdf>, (参照 2023-10-10)