

オンチップシリコン変調器の光強度による出力依存性

日大生産工(学部) ○藤井 佑樹 塚田 祐樹

松澤 優葵 平松 勇人

日大生産工(院) 谷口 遼紀 大久保 樹人

日大生産工 野邑 寿仁亜 石澤 淳

1. まえがき

我々は、Fig. 1に示すような周波数軸上に輝線スペクトルが周波数間隔 f_{rep} で等間隔に並ぶ光周波数コムの一種である電気光学変調(EO)コムを用い、低ノイズなマイクロ波の発生を目指している。将来的には6G通信などへの応用が期待される。EOコムの低ノイズ化には $2f-3f$ 自己参照干渉法¹⁾によるキャリアエンベロープオフセット周波数(f_{CEO})の検出²⁾及び実験系の光路長を短尺化することで実現できる。昨今、フォトニクスの分野において各機能素子の小型化や集積化が盛んに研究されている。我々はオンチップ集積化が容易なシリコンフォトニクスの技術を用いて光路長の短尺化からのアプローチを行い、EOコムの低ノイズ化を目指す。本研究では、シリコンに生じる非線形効果を測定する。

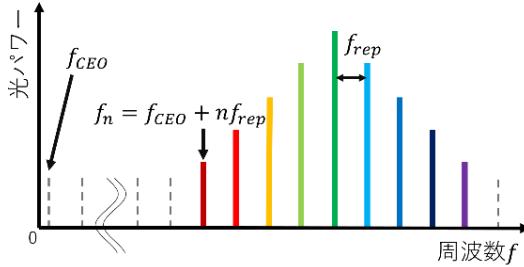


Fig. 1 光周波数コムの模式図

2. 提案手法

本研究では、カスケード接続されたオンチップシリコン(Si)変調器を用いて、25 GHz繰り返しEOコムを発生させ、Si変調器に入射する光強度による出力依存が発生するかを検証する。Si変調器は光変調器の一種で、EOコム発生によく用いられるポッケルス効果を用いた変調器であるLiNbO₃(LN)変調器とは異なり、キャリアプラズマ効果³⁾を用いて位相変調を行うものである。Fig. 2にSi変調器の断面図を示す。

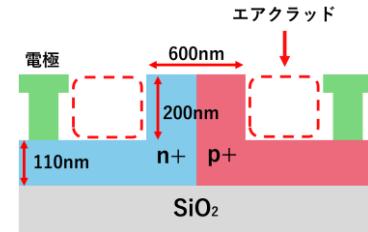


Fig. 2 Si変調器の断面図

Si変調器で用いられるキャリアプラズマ効果は、PN接合面のキャリア密度を変化させることで入射する光の屈折率が変化する効果である。Si変調器では、材料となっているシリコンの性質上、入射光が高強度になるにつれて、二光子吸収や自由キャリア吸収等によって入射光の強度増加と損失が釣り合い、出射光が飽和することが予想される。よってその強度依存性を検証することで、今後の光導波路作成等の研究に役立てることが可能だと考える。

3. 実験方法および測定方法

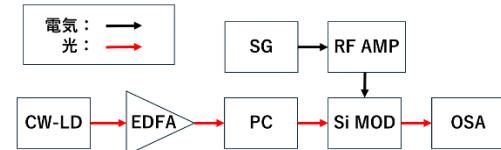


Fig. 3 実験配置図

CW-LD: Continuous wave laser diode.

EDFA: Erbium-doped fiber amplifier.

PC: Polarization Controller. Si MOD: Silicon modulator. OSA: Optical spectrum analyzer.

SG: Signal Generator. RF AMP: Radio Frequency Amplifier.

実験配置図をFig. 3に示す。種光源として波長1552.5 nmの狭線幅CWレーザーを用いた。CWレーザーの出射光をEDFAで增幅し、偏波コントローラーで偏波をTE波に調整後、Si変調器に入射する。Fig. 4にて実際にEOコムを発生させたときのスペクトルを示す。Si変調器出射後の光強度を光スペクトラムアナライザで計

Output Dependence of On-Chip Silicon Modulators on Optical Intensity

Yuki FUJII, Yuki TSUKADA, Yuki MATSUZAWA, Hayato HIRAMATSU
Haruki YAGUCHI, Tatsuto OKUBO, Junia NOMURA and Atsushi ISHIZAWA

測した。入射光強度は7 dBmから21 dBmまで変動させ、出力光強度の変化を計測する。また、Si変調器は1台と3台カスケード接続したときの値を比較することによって、Si変調器の台数によって飽和する入射光強度に変化が生じるかを検証する。

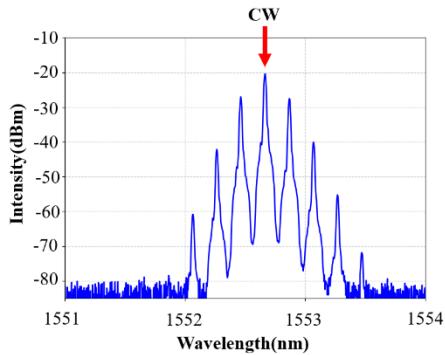


Fig. 4 Si 変調器 1 台で発生させた EO コム

4. 実験結果および検討

4.1 Si変調器1台の出射光強度変化

Figure 5にSi変調器1台に光を入射したときの出力光強度変化を示す。7 dBmから16 dBmまで入射光強度を増加させた際は、線形に出射光強度が増加している。しかし、16 dBm以上の光強度をSi変調器に入射した際、出射光強度にそれほど変化が見られない。従って入射光強度が16 dBmあたりから出射光強度が飽和していると考えられる。

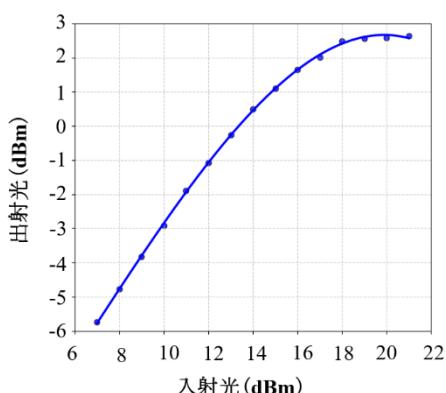


Fig. 5 Si変調器1台の出射光強度変化

4.2 3台マルチステージSi変調器の出射光強度変化

Figure 6に3台マルチステージSi変調器に光を入射したときの出力光強度変化を示す。Si変調器3台をカスケードに接続しているため、出射光の強度が10 dBm程度低下していることを確認できる。Si変調器1台の場合と同じく16 dBmまでは線形に出射光強度が増加してい

ることを確認できるが、それ以上の強度の光を入射しても、出力光強度の増加が鈍くなっているため入射光に対する出射光強度は飽和していると考えられる。出力光強度が飽和し始める入射光強度はSi変調器1台の場合とほとんど変化がないことを確認した。

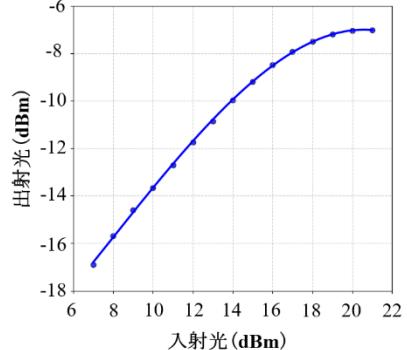


Fig. 6 3台マルチステージSi変調器の出射光強度変化

5. まとめ

本研究では、オンチップSi変調器の入射光強度依存性を検証した。出力光強度が約16 dBm到達後に飽和するという結果になった。出力光強度の飽和はSi変調器の台数によって発生するものではなく、Si変調器そのものにある物質的特性によって発生している推測される。今後、これらの測定結果をシリコン材料等を用いる光導波路作成の研究に役立てる。

参考文献

- 1) 石澤淳, 西川正, 日達研一, 後藤秀樹
光周波数コムの光源開発, “電気光学変調コム”光周波数コムの最新状況と応用展開特集, 電気通信学会誌, 103, 11 (2020) pp. 1097-1104.
- 2) A. Ishizawa, T. Nishikawa, S. Aozasa, A. Mori, O. Tadanaga, M. Asobe, and H. Nakano
Demonstration of carrier envelope offset locking with low pulse energy. Optics Express, 16(7), (2008) pp. 4706-4712.
- 3) 馬場俊彦, シリコンフォトニクス"次世代光インタコネクション技術", エレクトロニクス実装学会誌, 12, 5 (2009) pp. 458-463.