

## SiN を利用した多段シリコン変調器ベース光周波数コムの広帯域化

日大生産工(学部) ○塚田祐樹 松澤優葵  
平松勇人 藤井佑樹  
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

近年, AIやIoTの普及によるデータ通信量の爆発的な増大に伴い, 光通信網のさらなる大容量化が急務となっている。その基幹技術である波長分割多重(WDM)は, 波長ごとに個別レーザを必要とするため, システムの大型化や高消費電力化が深刻な課題である。この課題を解決するのが, 単一光源から多数の光搬送波を生成する光周波数コムである。これをWDMのマルチキャリア光源として利用することにより, 数多くの個別レーザを一つに集約できる。

我々は繰り返し周波数を精密かつ自由に変更できる電気光学変調(EO)コム<sup>1)</sup>という光周波数コムの一種を用いた。EOコムを用いた低ノイズマイクロ波発生において, 光路長の短尺化が重要となる。位相雑音は中心波長から離れた光周波数信号ほどEOコムを駆動する信号発生器の位相雑音の情報が増幅されており, フィードバック制御の際に抑圧ゲインが大きくなるため, マイクロ波のノイズが大幅に低減できる。光路長の短尺化は, フィードバック回路の制御可能な帯域幅を拡大させる。この帯域幅はフィードバック時間の逆数で決まるため, 光路長を短くして遅延を低減することが, より高速な雑音まで補償できる広い帯域幅の確保に直結する<sup>2)</sup>。

本報告では, シリコン変調器ベースのEOコムをシリコンナイトライド導波路(SiNW)に結合することで更なるスペクトル帯域幅の拡大に成功した結果について報告する。

### 2. 提案手法

単一の連続波(CW) レーザを光源として用いる。この種光源を変調器に入力し, 外部の信号発生器(SG)から正弦波信号を変調器に印可することにより, 種光源の中心周波数を起点にSGの設定周波数に対応した周波数間隔の

EOコムが得られる。上記のEO変調器は従来使用されているニオブ酸リチウム(LN)変調器ではなく, シリコン(Si)変調器を使用する。LN変調器とSi変調器は, それぞれポックルス効果とキャリアアラズマ効果を利用した変調手法である。LN変調器の作用長が約80 mm程度であるのに対して, Si変調器は作用長が約2 mm程度となっている。そのため, Si変調器を使用することで光路長の短尺化を可能とする。

今回, カスケード接続された多段Si変調器とRF信号発生器を用いて, EOコムを発生させる。Si変調器で生成したEOコムのさらなる広帯域化のため, 本研究では非線形光学効果を利用するSiN導波路を用いた。

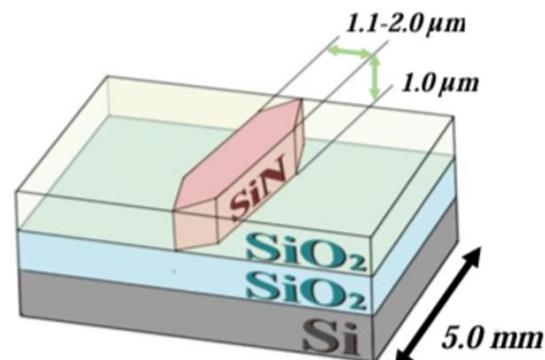


Fig. 1 SiN導波路構造

Figure 1に示すように, この導波路はシリコン基板上にSiO<sub>2</sub>が両面を覆っている。効率的な自己位相変調(SPM)によるスペクトル拡大を実現するため, 導波路は異常分散となるよう構造分散が精密に制御されている。導波路の長さは5.0 mm, 幅は1.1 - 2.0 μmであり, 入出力部には高効率な光結合ため, スポットサイズコンバータが設けられている。

## Broadband Optical Frequency Comb Generation Using a SiN-Assisted Cascaded Silicon Modulator

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

### 3. 実験方法および測定方法

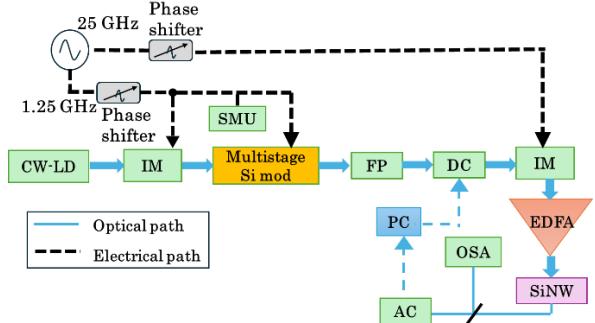


Fig. 2 Experiment setup

CW-LD: Continuous Wave Laser Diode. IM: Intensity Modulator. AC: AutoCorrelator. FP: Fabry-Pérot Filter. DC: Dispersion Compensator. SMU: Source Measure Unit. EDFA: Erbium-Doped Fiber Amplifier. OSA: Optical Spectrum Analyzer. Si mod: Silicon modulator. SiNW: Silicon Nitride Waveguide.

実験配置図を Fig. 2 に示す。中心波長が 1552.5 nm の CW レーザを種光源として、強度変調器で変調を行う。変調された光をファイバブロックにて Si 変調器と空間結合した。Si 変調器内ではキャリアアラズマ効果により位相変調が行なわれる。強度変調器、Si 変調器には共に RF 信号発生器から 25 GHz の電気信号ならびに SMU からの DC 電圧 6 V を印可した。Si 変調器によって変調され、信号発生器より印可した周波数に依存してサイドバンドが現れ、EO コムが発生した。このようにして生成した EO コムを種光源とし、幅の異なる複数の SiN 導波路を用いて、その非線形光学効果による広帯域化を検証した。

### 4. 実験結果および検討

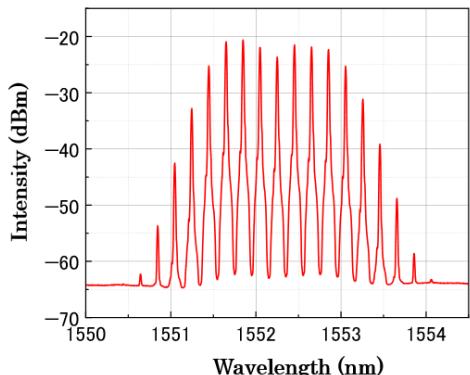


Fig. 3 EO comb spectrum

Fig. 3 はカスケード接続された多段構造を持つ Si 変調器を用いて発生させた EO コムの光ス

ペクトルである。EO コムの周波数間隔は、印加した RF 信号周波数に対応する 25 GHz であることが確認できる。また、スペクトルの -60 dB 帯域幅として約 375 GHz が得られた。なお、Si 変調器一台あたりの位相変調量は  $0.4 \pi$  となっている。非対称なスペクトルになっているのはキャリアアラズマ効果によるものである。これは非線形媒質を透過させる前のスペクトルであり、パルス幅 1 ps 以下の短パルス化にはさらなる帯域幅の拡大が必要である。このキャリアアラズマ抑制は、広帯域な EO コムを生成する上で望ましい特性である。次に、この EO コムを種光源として SiN 導波路に光結合させ、非線形効果による広帯域化を実証した。SPM により、帯域が拡大していることを確認できた。

### 5. まとめ

今回、カスケード接続された多段シリコン変調器によるキャリアアラズマ効果を利用し、EO コムの発生させた。その後、SiN 導波路に光結合することで更なる広帯域化を実証した。この結果は、オンチップでの EO コムの実現に向けた重要な一步である。今後、シリコン変調器の多段化を行うことでスペクトル帯域幅を拡大させることを目指す。

### 参考文献

- 1) 石澤淳, 西川正, 日達研一, 後藤秀樹, 電気光学変調コム, 電子情報通信学会誌, Vol.103, No.11, p.1098, 2020.
- 2) Atsushi Ishizawa, Tadashi Nishikawa, Kenichi Hitachi, Tomoya Akatsuka & Katsuya Oguri, Optical-referenceless “Optical frequency counter with twelve-Digit absolute accuracy”, scientific reports, 13.1, 8750, 2023.