ISSN 2186-5647

P-39

電気光学変調コムを利用した低ノイズ300 GHzテラヘルツ信号生成

日大生産工　○中村 海稀　　日大生産工(院)　吉田 靖典
日大生産工　野邑 寿仁亜　　南 康夫　　石澤 淳

1. まえがき

次世代移動通信(6G)は、現在の10倍の伝送速度、1/100の電力消費、1/10の低遅延性を目指している。6Gは5Gよりも周波数が高い300 GHz帯の使用を予定している。しかし、利用が期待されている300 GHz帯の信号は水晶発振器の周波数(基本周波数10 MHz)を整数N倍し発生させるため、水晶発振器のノイズはN^2倍に増大する。そのため、電気的手法では、伝送速度の鈍化や伝送品質の劣化が課題となっており、ほぼ周波数限界に近付いている。そこで、我々は光学的手法である光電変換によって低ノイズな300 GHz信号を生成し6Gを実現することを目指す。本研究では、電気光学変調(EO)コムを利用した低ノイズな300 GHzテラヘルツ信号生成について報告する。

2. 提案手法

フォトミキシング法を用いて、二本の輝線スペクトルの干渉信号をフォトディテクタ(PD)で光電変換によって、周波数300 GHzのテラヘルツ波信号の生成を行う。光検出には単一走行キャリアフォトダイオード(UTC-PD)を用いる。従来のフォトミキシング法では二台のレーザー光源を用いてテラヘルツ波を生成する。本研究は、光周波数コムの中の一つであるEOコム一台でフォトミキシングを行う。光周波数コムとは多数の周波数スペクトルが一定間隔で並んだ櫛状の輝線スペクトルを持った光源である。EOコムの種光源と、その種光源から300 GHz離調した輝線スペクトルを用いた周波数300 GHzのテラヘルツ波を発生させる。

3. 実験方法および測定方法

実験配置図を Fig.1 に示す。波長 1552.5 nm の連続波(CW)レーザーを種光源として用いる。その後、光カプラーを用いて EO コム発生側と変調側に 2 分岐する。EO コム発生側では、繰り返し周波数 25 GHz の EO コムを発生させた後、Wave Shaper を用いて種光源に用いた CW レーザーの周波数から 300 GHz 離れたコムモードを抽出し、光バンドパスフィルタ(OBPF)を用いてノイズを取り除くことで光信号の信号対雑音比(SNR)を向上させる。変調側では分岐した光信号に強度変調器を用いて変調を行う。この際、ファンクションジェネレータから 80 Mbps の電気信号を強度変調器に印加する。その後、変調側の光信号は可変光減衰器(VOA)を用いてEOコム側の光信号の強度とほぼ同強度にして合波し、300 GHz 光信号を生成する。生成した光信号のパワーをエルビウム添加光ファイバー増幅器(EDFA)で約 16 dBm に増幅し、UTC-PD(NTT Innovative Devices 社)を用いてフォトミキシングにより光電変換し 300 GHz のテラヘルツ波を発生させる。その後、2.6 mm の空間伝送を行い、ゼロバイアスショットキーバリアダイオード(ZBD, Virginia Diodes Inc.)を用いて 300 GHz 信号の検出を行う。また、高周波信号に DC 成分の影響を及ぼさないために Bias Tee を挿入することで高周波信号と DC 成分に分離する。その後、高周波信号の強度が弱いため、RF アンプを用いて信号を増幅しバンドパスフィルタを用いてノイズを除去しオシロスコープ(OSC)を用いて信号の測定を行う。

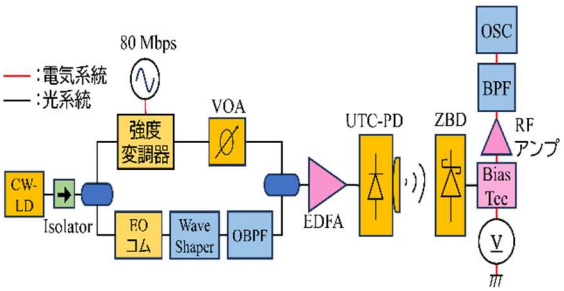

Fig.1 実験配置図.。CW-LD: 連続波レーザーダイオード。VOA: 可変光減衰器。EOコム: 電気光学変調コム。OBPF: 光バンドパスフィルタ。EDFA: エルビウム添加光ファイバー増幅器。UTC-PD: 単一走行キャリアフォトダイオード。ZBD: ゼロバイアスショットキーバリアダイオード。BPF: バンドパスフィルタ。OSC: オシロスコープ。

Generation of 300 GHz waves using an electro-optic modulation comb

Mitsuki NAKAMURA, Yasunori YOSHIDA, Junia NOMURA,
Yasuo MINAMI and Atsushi ISHIZAWA

4. 実験結果および考察

Fig.2は、本実験で使用した25 GHz繰り返し周波数EOコムのスペクトルである。各光コムのSNRは40 dB以上である。

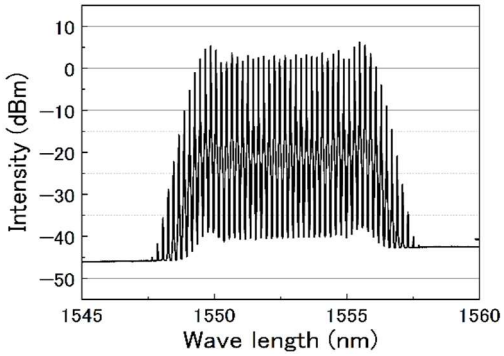

Fig.2 使用したEOコムスペクトル

次に、Fig.3にEOコムの光信号と変調信号との300 GHzビート信号、Fig.4にEDFAで増幅した光信号を示す。Fig.3に示すように狭帯域フィルターのみで約70 dBの高い光信号対雑音比(OSNR)の300 GHz光信号の生成に成功した。これは、Wave Shaperとフィルターによって光信号以外のノイズを低減することで高いOSNRを達成したと考えられる。しかし、Fig.4に示すようにEDFAで増幅した後のではOSNRは約50 dBに低下した。これは、信号の強度を増幅することでノイズも増幅されてしまったことが原因である。その後、空間伝送を行った信号をOSCで測定した波形をFig.5に示す。

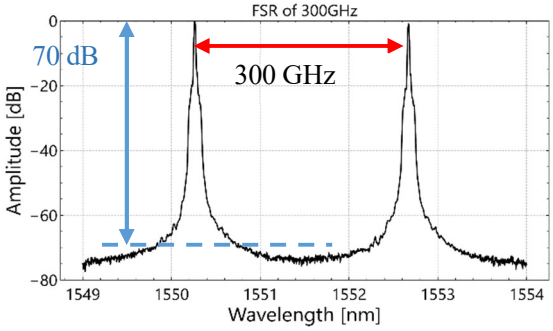

Fig.3 生成した300 GHz光信号

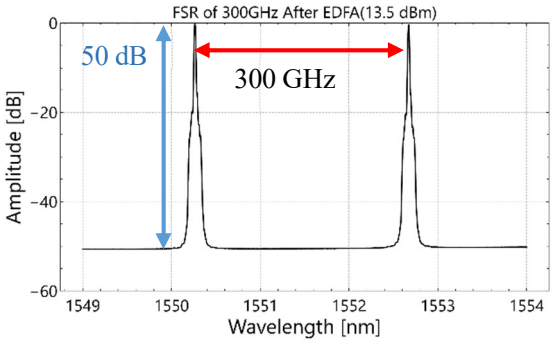

Fig.4 EDFAで増幅した光信号

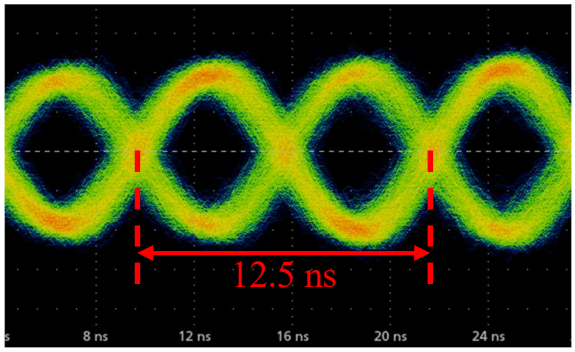

Fig.5 OSCで測定した80 MHz波形

Fig.5に示すように伝送されている信号はアイ・ダイアグラムとはなっていないが、80 MHzの周期12.5 nsの周期的な波形を確認できていることから伝送はされていることが確認できる。アイ・ダイアグラムを測定できなかったのは強度変調器への電気信号の変調速度が足らず、変調器が正常に動作していないことが原因であると考察する。

5. まとめ

EOコムを利用することで低ノイズ300 GHzテラヘルツ信号を生成した。また、生成したテラヘルツ信号の空間伝送を行った。今後、強度変調器への変調速度を増加させアイ・ダイアグラムの測定を行う。また、将来的に測定したアイ・ダイアグラムから伝送品質の評価を行う予定である。

参考文献

1) A. Ishizawa, et al., “Optical-referenceless optical frequency counter with twelve-digit absolute accuracy”, Sci. Rep. 13, 8750, 2023
2) Y. Kikkawa, et al., “sub-30-fs fibre-coupled electro-optic modulation comb at 1.5μm with a 25-GHz repetition rate,” Electronics Lett. 59, 2023
3) Y. Matsumura, et al., “Carrier conversion from terahertz wave to dual-wavelength near-infrared light for photonic terahertz detection in wireless communication,” Opt. Express 31, 2023