

6G に向けた 300GHz 帯テラヘルツ無線通信

日大生産工（院） ○吉田 靖典

日大生産工（学部）中村 海稀

日大生産工 野邑 寿仁 亜 南 康夫 石澤 淳

1. まえがき

近年、移動体通信、センシング技術、遠隔医療の進歩を支えるため、高速無線通信システムの進歩に対する要求が高まっている。さらに、Beyond 5G (6G)や 7G に向けて、マイクロ波帯を超えるミリ波帯やテラヘルツ波帯の開拓が急務となっている¹⁾。

従来の手法である電気的手法では、水晶発振器や位相同期回路、電圧制御型発振器等で構成される通倍回路を用いて目的の周波数を生成している。この手法の課題は、物理的上限や通倍器によってノイズも同様に増幅する事で、ミリ波を超える高い周波数帯で用いた際に伝送品質の劣化や、伝送速度の鈍化などが生じ大容量高速無線通信のボトルネックとなってしまう。

我々は光周波数コムという特殊な光源と光電変換を導入する事で、光周波数コムの特徴である低位相ノイズ性、振幅・位相の高度変復調を用いた超高速・大容量な次世代無線通信を目指している。具体的に本講演では、電気光学変調 (EO)コムを用いたテラヘルツ波の発生と伝送について報告する。EOコムを用いることで、光-電気変換からテラヘルツ波を直接発生させることができる^{2),3)}。

2. 提案手法と実験装置系

電気光学効果を用いたEOコムを発生させる。線幅 7 Hz、中心波長 1552.5 nmの連続波(CW)半導体レーザー (LD)を種光源として用いた。CW-LDからの光は2分岐し、一方は光コム発生に利用される。光位相は、強度変調器(IM)と位相変調器(PM)を用いて、信号発生器出力の 25 GHz正弦波信号で変調した。種光源は、PMによりアップチャープとダウンチャープに周期的に変調される。線形アップチャープ部分は強度変調器で抑圧される。その後、チャープされた光は分散補償ファイバーを通過することで分散補償され、パルス圧縮される。EOコムは、電気光学(EO)効果を利用して生成される光周波数コムである。光コムの発生に光共振器を用

いないため、共振器長の制約を受けず、高繰り返しパルス列を発生できる。この方法により、25 GHzのフェムト秒光パルスを生成することができる。

2分岐したもう一方の光は、テラヘルツ通信実証のためのローカル光として利用される。光任意波形成形器を用いて、CW-LD周波数の 193.1 THzから300 GHz離れた光コム縦モードを1本切り出す (193.4 THz)。信号対雑音比 (SNR)が50 dB以上の2つのコムラインに対して光-電気(OE)変換を行うと、SNRの高いテラヘルツ波の発生が観測されることが明らかになっている³⁾。LD側へ新たに挿入したIMに、信号発生器(FG)を用いて発生させた80 Mbpsの疑似ランダムな2値信号列(PRBS)を印加する。今回IMに利用するEO変調器は、高速かつ低チャープ、低光損失、高変調精度を特徴としている。IMはその信号に比例したON/OFFを繰り返すことによりOn-Off-Keying変調を行う。2本のコムラインの可変光減衰器を用いて強度比を揃え合波させる。その後適切な電力まで増幅し、OE変換素子である単一走行キャリア・フォトダイオード (UTC-PD) に入射して光差周波数発生による300 GHzの搬送波を発生させ、信号を送信する。ショットキーバリアダイオード (SBD)で信号を受信、二乗検波する。バイアスティーで、AC成分とDC成分を分離し、DC成分をマルチメーターで計測し、AC成分(信号)を電力増幅した後オシロスコープで観測、品質の評価を行う。本研究で用いた実験装置系をFig. 1に示す。

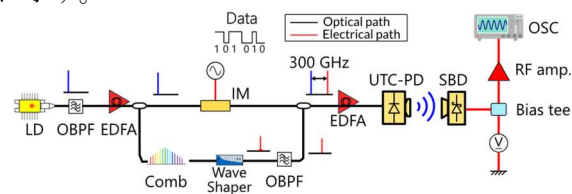


Fig. 1 実験配置図 LD: Continuous wave laser diode, OBPF: Optical band-pass filter, IM: Intensity modulator, EDFA: Erbium-doped fiber amplifier, UTC-PD: Uni-traveling-carrier photodiode, SBD: Schottky barrier diode,

Terahertz Wireless Transmission in the 300 GHz Band for 6G

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

RF amp.: Radio frequency amplifier OSC: oscilloscope, Wave Shaper: Optical Programmable Filter

3. 実験結果及び考察

初めに伝送に必要な帯域幅を持ったEOコムを発生させた。モード間隔 25 GHz、スペクトル帯域幅 17.5 nm (@ -3 dB)の平坦なEOコムが生成された。その結果をFig. 2に示す。EDFAの増幅自然放出(ASE)ノイズは-55 dBのレベルで観測した^{3),4)}

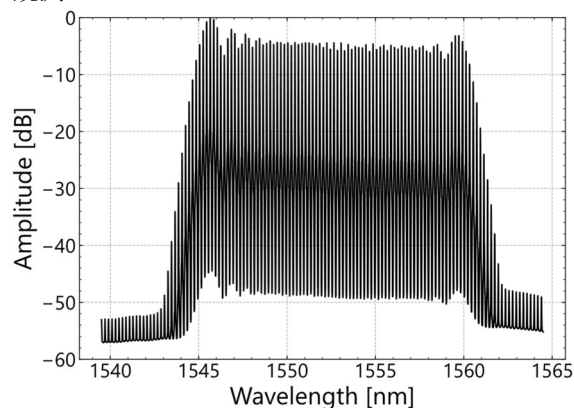


Fig. 2 EO comb のスペクトラム

UTC-PDを用いて生成した搬送波300 GHzを自由空間 2.6 mm 伝送させた。Fig. 1の構成においてSNR 50 dB以上を持つ300 GHzの信号を確認した(Fig. 3)。

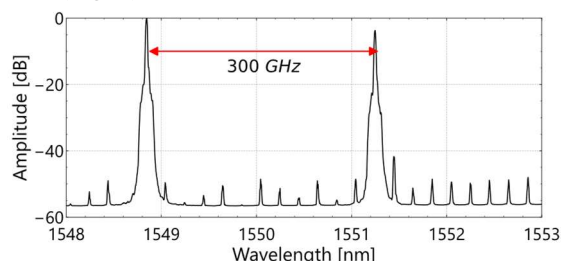


Fig. 3 周波数差 300 GHz のコムスペクトル

データの伝送では、FGにおいて、PRBS信号 PN15, 80Mbpsの疑似バイナリデータを用いて伝送した(Fig. 4)。アイダイアグラムの開口は大きく良い伝送条件で伝送できている。

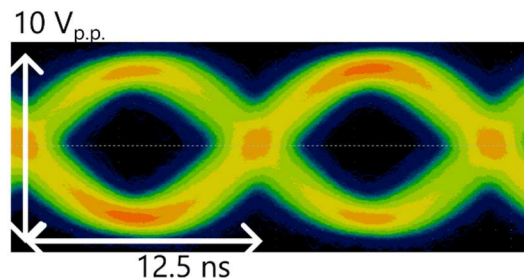


Fig. 4 空間伝送後の信号波形

本研究では、大気減衰の小さい 300 GHz の搬送波を用いて信号伝送を行った。UTC-PD の電流制限により、長距離伝送が出来ていないことが今後の課題である。また、データ信号源である FG を高速対応にすることで、データレート向上を図ることが出来るため、さらなる通信高速化の検討を行っている。

4. まとめ

EOコムとUTC-PDを用いた光差周波混合により、テラヘルツ波の発生に成功した。光差周波混合により、ASEノイズ等の雑音に対して光信号対雑音比(OSNR) 50 dB以上を確保した。OSNR 50 dB以上を持つ信号は受信後のビット誤り率の改善が可能であると考えられる。本実験では伝送信号は疑似バイナリデータを用いたが、今後は、実際の画像や動画等をリアルタイムで伝送する事を検討する。我々はEO コムの絶対位相制御に成功しているので、その極めて低い位相雑音なEOコムを用いた大容量高速な次世代無線通信を行う予定である。

参考文献

- 1) R. Krishan, Terahertz Wireless Communication Components and System Technologies, Springer, (2022), pp. 153-161 .
- 2) 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**, 33103 (2023).
- 3) Y. Kikkawa, et al, " Sub-30-fs fibre-coupled electro-optic modulation comb at 1.5 μ m with a 25-GHz repetition rate," Electron. Lett. **59**, 1 (2023).
- 4) A. Ishizawa, et al, Optical-referenceless optical frequency counter with twelve-digit absolute accuracy," Sci. Rep. **13**, 8750 (2023).