

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月12日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760351

研究課題名（和文） 光コムを用いたミリ波・テラヘルツ波変調信号の発生

研究課題名（英文） Generation of modulated millimeter and terahertz waves using optical combs

研究代表者

諸橋 功 (Morohashi Isao)

（独）情報通信研究機構・未来ICT研究所超高周波ICT研究室・主任研究員

研究者番号：40470059

研究成果の概要（和文）：本研究は、マッハツェンダ変調器ベース光コム発生器を用いてミリ波・テラヘルツ波の発生およびその変調信号の発生を目的として行った。本方式は、光コム発生器が持つ高い周波数精度と安定性の特徴を利用したものである。発生されたミリ波帯信号の評価を行った結果、狭線幅かつ低位相雑音を有することが明らかとなった。また、複数のミリ波帯信号の同時発生により、マルチキャリア信号発生が原理的に可能であること示した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is generation of high quality and modulated signals in the frequency range of millimeter and terahertz by using Mach-Zehnder-modulator-based flat comb generator. This method relies on the frequency accuracy and stability of the optical comb source. By evaluation of generated signals, this method can generate millimeter and terahertz waves with extremely narrow linewidth and low phase noise. Furthermore, generation of multi-carrier signals was demonstrated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：変復調

1. 研究開始当初の背景

近年、高速無線通信が注目されているが、ギガビットを超えるデータ伝送速度の要請から、ミリ波帯を用いた無線通信が注目されている。現在では、60GHz帯を用いた無線伝送システムが実用化段階に入っており、1Gbpsの伝送速度が実現されている。さらなる高速化に向けて、ミリ波・テラヘルツ波などのより高い周波数帯を用いた無線通信システムの研究が国内外で盛んに進められている。例えば国内では、NTTが搬送波に125GHz帯を用い、10Gbpsの映像データを屋外において200m伝送させる実証実験に成功している。また国外ではドイツのグループにより、300GHz帯を搬

送波に用いた伝送実験が行われている。このときの伝送帯域は10GHzであり、伝送距離は22mであった。これらの実験は、オン・オフ変調などの単純な変調方式を用いて行われたが、さらなる大容量化するためには、多値変調などの高度な変調方式が不可欠であり、高精度な信号生成技術が求められる。

マッハツェンダ変調器（MZM）型光コム発生器は、1台の光変調器を用いて超平坦光コムを生成することでき、変調器単体でも200GHz以上の帯域幅を持つ光コムの発生が可能である。さらに、非線形ファイバや光フィードバック技術を組合せることで、数THzを超える広帯域な光コムの発生が可能である。本光源の特徴は、①発生される光

コム信号の周波数精度および位相雑音が変調器を駆動するマイクロ波信号の周波数精度および位相雑音で決まること、②光通信の技術に立脚しているため、非常に安定したシステムである。本光源を用いることにより、高精度なミリ波・テラヘルツ波帯信号を簡便なシステムで発生できる可能性がある。

2. 研究の目的

マッハツェンダ変調器型光コム発生器は、高性能なミリ波・テラヘルツ波源に適しており、無線通信用の光源や、テラヘルツ帯の周波数計測における基準信号源など適用可能な範囲も広い。本研究では、マッハツェンダ変調器型光コム発生器を用いたミリ波・テラヘルツ波発生およびその変調信号の発生を目的とした。本研究で提案する信号発生法は、周波数多重あるいはマルチキャリア方式の伝送を視野に入れており、大容量伝送を可能にする技術である。

3. 研究の方法

本研究では、光混合法によりミリ波・テラヘルツ波信号を発生させる。光信号として、周波数精度の高い光コムを用いることにより、高精度、低位相雑音のミリ波・テラヘルツ波信号の発生が可能となる。

図1に光コムを用いたミリ波・テラヘルツ波発生の原理を示す。光コムをフォトカプラにより2分岐し、それぞれ可変光フィルタに入射する。光フィルタの中心波長およびパスバンド幅を変えることにより、光コム信号から任意の2モードを抽出する。ここで、2モードの周波数差 (Δf) は発生させるミリ波・テラヘルツ波信号の周波数に一致させる。2モードを合波後、フォトミキサに入射することによりミリ波・テラヘルツ波に変換する。本システムの特徴は、①発生されるミリ波・テラヘルツ波信号の周波数を選択するモードにより広帯域に可変できること、②発生されるミリ波・テラヘルツ波信号の周波数精度および安定性が光コムのモード間隔の精度および安定性により決まることである。したがって、周波数精度の高い光コムを用いることで、高周波数精度、低位相雑音および高安定のミリ波・テラヘルツ波を発生することができる。

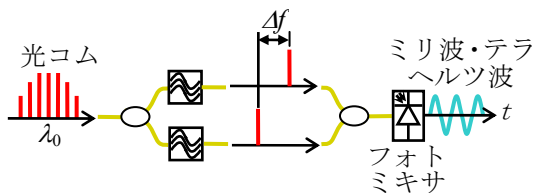


図1 光コム発生器を用いたミリ波・テラヘルツ波発生の原理図

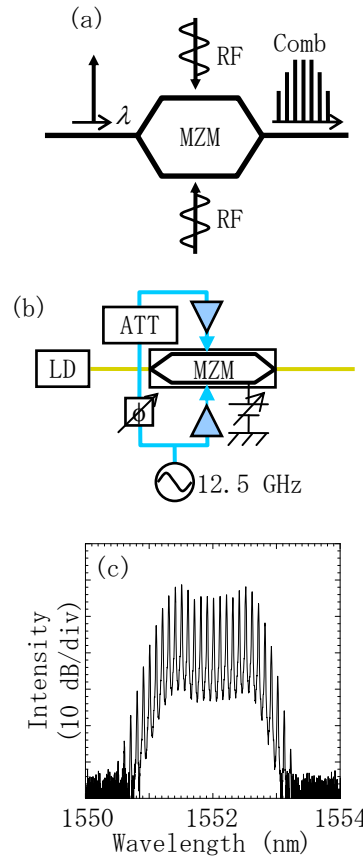


図2 (a) 光コム発生の原理図、(b) マッハツェンダ変調器型光コム発生器の構成、(c) 光コムのスペクトル例

できる。

図2 (a) に光コムの発生原理を示す。マッハツェンダ型変調器を大振幅の正弦波マイクロ波信号で駆動する。変調器の駆動条件を最適化することにより、平坦性の高い光コム信号を発生することができる。図2 (b) に光コム発生器の構成を示す。シンセサイザから出力された周波数12.5 GHz、出力16 dBmのRF信号を2分岐し、それぞれ29 dBmおよび28 dBmに増幅した後、変調器に入力した。単一モード半導体レーザからの連続光を変調器に入射し、光コム信号を発生させる。図2 (c) に本光源により発生される光コムのスペクトルの一例を示す。12.5 GHz間隔の平坦性の高い光コム信号が発生され、10 dB帯域幅は200 GHz程度である。光コムの帯域は非線形ファイバや光フィードバックを用いることで広帯域化できることから、本光源を用いることで、広い周波数範囲のミリ波・テラヘルツ波信号を発生することができる。

4. 研究成果

本手法を用いたミリ波・テラヘルツ波信号発生の実効性を示すため、110 GHzのミ

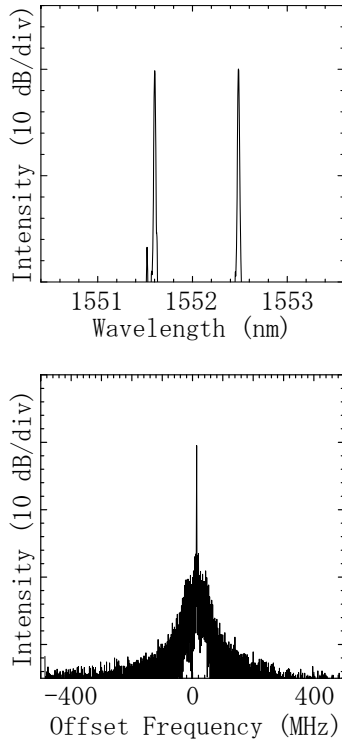


図3 (a) 光2モード信号のスペクトル (b) 発生された100 GHz信号のスペクトル

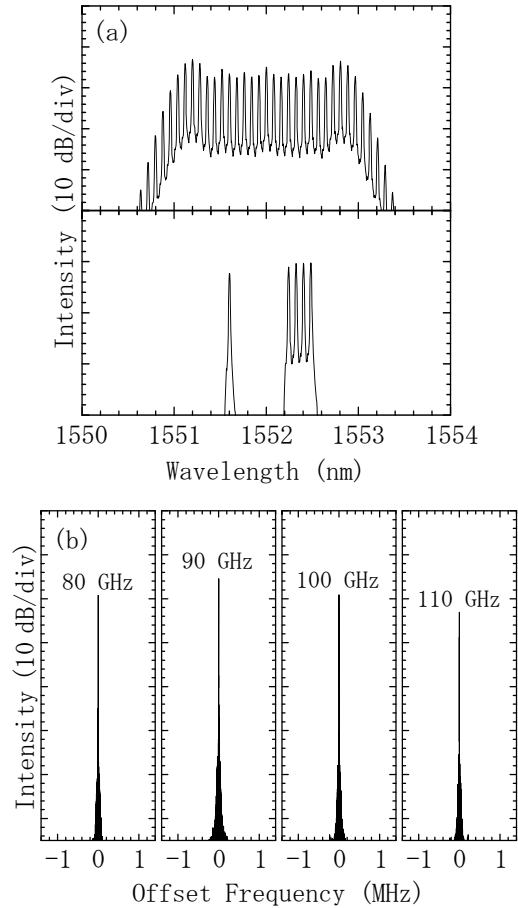


図5 (a) 光コムと抽出された光成分のスペクトル (b) 80~110 GHzで同時発生されたマルチキャリア信号のスペクトル

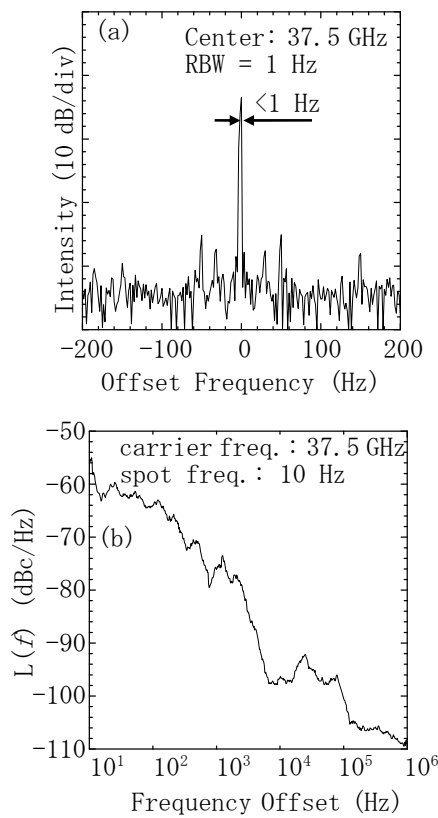


図4 (a) 37.5 GHz成分のRFスペクトルと (b) そのSSB位相ノイズ特性

リ波信号の発生を行った。図3 (a) に抽出された光成分のスペクトルを示す。110 GHz間隔の2成分のみが抽出されており、隣接するモードとの消光比は30 dB以上であった。この2モード信号を高速フォトダイオードに入射することにより、ミリ波信号を発生させた。図3 (b) に発生されたミリ波信号のスペクトルを示す。狭線幅のミリ波信号発生に成功し、その周波数は抽出された光成分の周波数差と一致している。図4に発生されたミリ波信号の線幅および位相雑音の評価結果を示す。測定器の帯域制限から、37.5 GHzのミリ波信号で評価を行った。図4 (a) にスペクトルを示す。発生されたミリ波信号の線幅は非常に狭く、1 Hz以下であった。図3 (b) にシングルサイドバンド (SSB) 位相雑音特性を示す。1 MHzオフセットにおける雑音は -109 dBc/Hzであり、RMS位相雑音は 0.0206 radであった。これにより、本手法によるミリ波発生は非常に低雑音な信号発生が可能であることが示された。これは、本方式

により発生されるミリ波・テラヘルツ波帯の信号は、QPSKやQAMなどの多値変調への適用も可能であることを示す非常に重要な結果である。

さらに、ミリ波帯多周波信号発生の実証を行った。光コム(図4(a))から5成分を抽出し、そのうちの1成分を基準光とし、他4成分を信号光とした(図4(b))。基準光-信号光間の周波数間隔は、それぞれ80GHz~110GHzとした。それらをフォトダイオードに入射し、ミリ波信号を発生させた。その結果、本研究の目的である多周波数のミリ波・テラヘルツ波帯信号発生が達成された。これは、ミリ波・テラヘルツ波帯における周波数多重やマルチキャリア方式での伝送が可能であることを示す重要な結果である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

① Isao Morohashi, Takahide Sakamoto, Tetsuya Kawanishi, Iwao Hosako, “Multi-frequency millimeter-wave source with high frequency accuracy by optical heterodyne using Mach-Zehnder-modulator-based flat comb generator,” International Workshop on Optical Terahertz Science and Technology 2013 (OTST 2013), W4-47, 2013年4月3日, 京都テルサ, 京都府.

② 諸橋 功, 坂本高秀, 川西哲也, 寶迫 巖, “MZM ベース光コム発生器を用いた多周波数ミリ波信号発生”, 第60回応用物理学会春季学術講演会, 27p-PA2-21, 2013年3月27日, 神奈川工科大学, 神奈川県.

③ Isao Morohashi, Takahide Sakamoto, Tetsuya Kawanishi, Iwao Hosako “Generation of Frequency-Multiplexed Millimeter Wave Signal Using Mach-Zehnder-Modulator-Based Flat Comb Generator,” The 36th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2011), 2011年10月3日, ハイアットリージェンシーヒューストン, 米国, ヒューストン.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

諸橋 功 (MOROHASHI ISAO)

独立行政法人情報通信研究機構・未来ICT研究所超高周波ICT研究室・主任研究員

研究者番号：40470059

(2) 研究分担者 ()

研究者番号：

(3) 連携研究者 ()

研究者番号：