

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06315

研究課題名（和文）メモリスタによる高効率な高調波発生とそのミリ波回路への応用

研究課題名（英文）Highly efficient harmonic generation by memristors and its application to millimeter wave circuits

研究代表者

林 等 (HAYASHI, HITOSHI)

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：70634963

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：DVD や相変化メモリに用いられているGe-Sb-Te系のメモリスタ（Memristor）を用い、バイアスをかけない無給電で高調波を出力し動作するシンプルな逓倍器を作製した。メモリスタによる高調波発生をミリ波帯で実現するために、高調波発生の実証および非線形性を有するメモリスタの開発および素子最適化に注力し、素子の高性能化を達成した。さらに、本逓倍素子の増幅回路への実装により、逓倍特性として同じ素子ではより高次までの高調波が発生することを確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

次世代移動通信システムの中核技術であるマルチバンド対応の局部発振器で使用される逓倍器では、高次の高調波を発生させるには高いレベルの入力電力を必要とし、結果として全体では大きな消費電力となっていた。本研究成果であるバイアスをかけない無給電で高調波を出力し動作するシンプルな逓倍器の実現により、身近に存在する微小なエネルギーを収穫し活用しようという「エネルギー・ハーベスティング」の促進が期待され、レジリエントな社会の形成に役に立つ。

研究成果の概要（英文）：We have fabricated a simple multiplier to output harmonics that operates without bias, using Ge-Sb-Te memristors. Ge-Sb-Te is a fundamental material for DVDs and phase change memories.

To realize harmonic generation by the memristor in the millimeter wave band, we focused on demonstration of principle of harmonic generation, development of a memristor with nonlinearity, and element optimization, and achieved high performance of the element.

Furthermore, it was confirmed that higher harmonics were generated by mounting this multiplication element in the amplifier circuit.

研究分野：情報通信

キーワード：メモリスタ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 次世代移動通信システムでは、現状の周波数帯よりも数十倍高いミリ波帯への移行が進むと想定され、エネルギー変換効率のよい Si ミリ波回路の実現が不可欠であり、中核技術であるマルチバンド対応の局部発振器や電力増幅器の実現が必須である。局部発振器で 사용되는通倍器では、通常、非線形の弱い FET やダイオードを用いているため、高次の高調波を発生させるには高いレベルの入力電力を必要とし、結果として全体では大きな消費電力となっていた。そのため、低い入力電力レベルで高い変換利得を得るためには非線形性の強いデバイスを用いる必要がある。

(2) 近年、電圧印加により、低抵抗状態/高抵抗状態間が変化するメモリスタ (Memristor) が開発され、ポスト CMOS、ニューラルネットワーク回路への応用が期待されている。メモリスタは電源を OFF しても待機状態でのリーク電力がゼロのまま状態を保持できるため、非線形性の強いメモリスタを高調波発生に用いれば、動作時における高効率な高調波動作とともに、待機時の消費電力の低減により、ミリ波回路の消費電力の低減を達成できる。

(3) 低消費電力技術の実現は、身近に存在する微小なエネルギーを収穫し活用しようという「エネルギー・ハーベスティング」の促進が期待されると共にレジリエントな社会の形成に役に立つ。具体的には(a)再生可能エネルギーの更なる普及、(b)遠隔地や停電時の独立電源の確保、(c)モバイル機器の主電源/補助電源の確保、(d)センサネットワーク向けの自立電源の確保などが実現されることが期待できる。無線通信で安定的に利用されている回路技術を使うため、技術が完成すればミリ波レーダーやセンサネットワークの小型無線通信端末にも適用できる汎用的なミリ波回路を実現できる。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、強い非線形を有するメモリスタを用いてミリ波回路を実現し、本要望に応え、既存デバイスでは得難い高調波発生の効率向上と低消費電力化への道筋を、広いサーベイと基本実験を通じて図ることを目的とする。

(2) 本研究は、ミリ波回路の研究に立脚し、メモリ材料における未踏の分野を開拓し、ポスト CMOS 研究としての基盤となることを目指す。

3. 研究の方法

(1) 非線形性を有するメモリスタのミリ波帯での動作確認を行うための TEG を作製する。メモリスタとして相変化材料メモリ素子を試作する。プロセスは学内研究設備のクリーンルームにて行う。相変化材料メモリ素子は電圧印加により、低抵抗状態/高抵抗状態間をスイッチするメモリスタであり、極めて非線形の高い特性が既に得られている。

(2) 学内で成膜、プロセスを行っており、デバイス特性からのフィードバックも容易であるため、まず手始めにインピーダンス整合をとるための抵抗値、スイッチング速度を中心とした基礎特性の評価を行う。プローブステーションにより高周波特性測定を開始する。

(3) 整合回路を付加した本格的なハイブリッド IC レベルでの検証を行う。相変化材料メモリ素子のメモリスタについて、基礎特性測定の結果に基づき、周波数通倍器を試作する。さらに、相変化材料メモリ素子を増幅回路へ実装し、測定・評価を行い、ミリ波帯での適用条件を明らかにするとともに、その過程で得られた知見に基づきさらなる低消費電力化の限界を追究する。

4. 研究成果

(1) メモリスタ (Memristor) による高調波発生をミリ波帯で実現するために、高調波発生の原理実証および非線形性を有するメモリスタの開発および素子最適化に注力した。

組成 Ge₁₇Sb₂₉Te₅₄ の素子において ±0.4 V 印加下での非線形性をを用いて無給電下での高調波発生に成功した。具体的には、160 MHz、0 dBm の入力波に対し第 3 次高調波、5 dBm 入力に対し第 6 次高調波を観測した。さらに、バイアス電圧依存性を調べ、非線形発生に該当する ±0.4 V 印加下での高調波増強を確認し、上記高調波発生がメモリスタの非線形性によるものであることを確認した。

同様に、組成 Ge₅₁Te₄₉ の素子においてもメモリスタの非線形性による高調波発生を確認している。Ge₅₁Te₄₉ の素子においては +0.4 V 印加下において強い高調波発生を確認した。

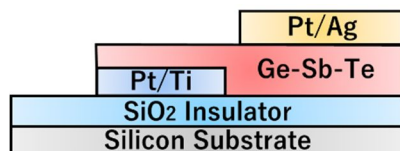
並行して、メモリスタの材料、素子構造の最適化を進め、飛躍的なスイッチング回数の向上を得た。AgGeTe 膜を使用したメモリスタにおいて 10,000 回以上の抵抗変化を得ると共に、酸化還元反応に伴う電流のピークの観測を得ることに成功した。この酸化還元反応に伴う電流は抵抗変化メカニズムの理解において重要な知見である。

(2) メモリスタによる高調波発生をミリ波帯で実現するために、素子の高性能化を達成した。具体的には、SiO₂/Si 基板上に Ge-Sb-Te 系のメモリスタを形成し、G-S-G 配列の高周波プローブを用いて RF 波の通過特性の測定を行ったところ、無給電状態で 6 次までだった高調波発生を 14 次まで達成することができた。また、300 MHz 程度までであった応答周波数 (基本周波数) を 1 GHz まで拡張できた。

さらに、計画していた以上の新しい高調波発生の制御手法をもたらすものと位置づけることができる新しい知見を得た。具体的には、バイアス電圧依存性を調べることで、奇数次高調波発生が強い場合と、偶数次高調波発生が強い場合をバイアス電圧印加により制御できることを示

した。また、同じバイアス値でも、バイアス印加履歴によって異なる高調波発生を行えることがわかった。

(3) メモリスタ逡倍素子の増幅回路への実装に挑戦した。逡倍素子の増幅回路への実装により、逡倍特性として同じ素子ではより高次までの高調波が発生することを確認できた。また、高周波数の出力電力が小さい問題を改善した。さらに、増幅回路の高調波発生の要因として、トランジスタの歪みに起因するものとカルコゲナイド逡倍素子の非線形性に起因するものの双方があることがわかった。



(a)



(b)



(c)

図1 (a) Schematic of the device structure. (b) SEM and (c) optical microscope images of a device. [1] Copyright 2018 The Japan Society of Applied Physics

参考文献[1] 近藤, 鹿倉, 兼平, 川崎, 林, 中岡, “Ge-Sb-Te 薄膜を用いた逡倍器の作成,” 20a-G203-4, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Imanishi Yusuke, Hayashi Hitoshi, Nakaoka Toshihiro	4. 巻 53
2. 論文標題 Spontaneous room-temperature formation of broccoli-like Ag-GeTe nanostructures assisting filamentary resistive switching	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 12254 ~ 12264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s10853-018-2493-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Kanehira, Y. Imanishi, H. Hayashi, and T. Nakaoka	4. 巻 52
2. 論文標題 Harmonic multiplication based on Ge-Sb-Te resistive-switching devices	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Electronics Letters	6. 最初と最後の頁 1811-1813
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1049/el.2016.2016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Yin Yifei, Xiang Jiawen, Park Hyoseong, Hayashi Hitoshi, Nakaoka Toshihiro
2. 発表標題 Amplification circuit using a frequency-multiplying Ge-Sb-Te thin film
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 近藤 諒佳、鹿倉 直樹、兼平 達也、川崎 繁男、林 等、中岡 俊裕
2. 発表標題 Ge-Sb-Te薄膜を用いた通倍器の作成
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	中岡 俊裕 (Nakaoka Toshihiro) (20345143)	上智大学・理工学部・教授 (32621)	
研究協力者	和保 孝夫 (Waho Takao) (90317511)	上智大学・理工学部・客員教授 (32621)	