

共鳴トンネルダイオードとボウタイアンテナ集積構造による 周波数コム生成特性の理論解析

Theoretical analysis of characteristics of frequency comb generation by using a resonant tunneling diode integrated with bow-tie antenna

首都大理工, °橋本壮一, 浅川澄人, 斉藤光史, 須原理彦

Tokyo Metro. Univ., °Souichi Hashimoto, Sumito Asakawa, Mitsufumi Saito, Michihiko Suhara

E-mail: hashimoto-souichi@tmu.ac.jp

1. はじめに

化合物半導体である共鳴トンネルダイオード(RTD)は現在室温で 1.4THz[1]での発振が観測されており, THz 動作デバイスとして有力である. また, ミリ波無線通信では光学技術を用いた周波数コム生成によって 120GHz 帯で 10Gb/s のデータ伝送が論証されており[2], THz 広帯域通信方式として周波数コムが有用である可能性がある. しかし RTD による単一周波数での THz 発振の報告例はあるが, RTD を用いた周波数コムの提案と報告はまだない. そこで本研究では, RTD とボウタイを集積したデバイスで自励発振を誘起するように設計することとアンテナによる波形微分特性によって THz コム生成が可能であることを示し, その諸特性を理論解析することを目的とした.

2. 解析モデルと解析手法

Fig.1 に示す THz 周波数コム生成モデルを対象に解析を行った. このモデルは 100 μm 四方のボウタイアンテナに InGaAs/AlAs のダブルバリアの RTD を集積したもので, その等価回路は電磁界解析によって得られたものである[3]. 解析に用いた RTD の特性は, 実測の I - V 特性[4]に対してフィッティングをして得られたものおよびキャパシタンスの報告値を採用した. Fig.1 の等価回路に対して, メサ (RTD) 部分や各抵抗部分すべてに互いに無相関なショット雑音電流をそれぞれ並列に挿入し, その回路方程式から得られる微分方程式群を Runge-Kutta 法を用いて数値解析を行い, 挿入する雑音の大きさによって周波数コム (放射パワー P_{out} の周波数スペクトル) がどのような影響を受けるのかを検証した. 挿入するショット雑音は, 素子中にノイズとして入る電子 1 個分によって生じる電流パルスを時間的に重ね合わせたものとして定義した. その際, ある 1 つのショットノイズ電子が素子に注入されるタイミング, およびそれが素子から放出されるまでの時間, それぞれに対してガウシアンな不規則性を持たせた[5]. 各素子に流れるショット雑音電流の大きさは RTD および各抵抗素子に流れる平均電流の大きさに依存する特性として考慮している.

3. 解析結果

Fig.2 は RTD および全抵抗にショット雑音電流を考慮した場合の放射パワー ($P_{\text{out}} = v_r^2(t) / R_{\text{rad}}$) の周波数スペクトルの解析例である. ここで R_{rad} は放射抵抗のことであり $v_r(t)$ は放射抵抗に誘起される電圧である. ここで, ショットノイズ電子 1 個分による電流パルスの振幅値をそれぞれ $A_b = 2.4\mu\text{A}$, $A_L = 4.1\mu\text{A}$, $A_o = 0.94\mu\text{A}$, $A_{\text{rad}} = 0.94\mu\text{A}$ (添え字は Fig.1 に対応), $R_L = 15\Omega$, $L_E = 0.1\text{nH}$ とした場合の結果であり, 基本発振周波数/周波数間隔は 0.2THz の周波数コムが生成されている. THz コムの生成には RTD およびアンテナのパラメータおよび外部回路の外部抵抗 R_L と外部インダクタ L_E の適切な選択による条件やマージン設計が重要であり, それらも本解析で検証している. またショット雑音のコム特性への影響として, スペクトルの大きさの変化や発振周波数の若干のシフトなどが見られたが, それらは非線形素子である RTD が発生するショット雑音成分の方が他の等価抵抗で発生する雑音成分よりも, コムの雑音特性へ与える影響がより大きいということがわかった.

4. まとめ

RTD とボウタイアンテナの集積構造解析モデルを用いることで THz 周波数コムの生成が可能であることを理論的に明らかにした. 今後は RTD が生じるショット雑音がコムの諸特性に与える影響や採用を想定する広帯域通信方式における臨界条件を, 実際の RTD の特性に照らして理論的に明らかにしていく.

参考文献

- [1] Y. Koyama, R. Sekiguchi, and T. Ouchi, International Symposium on Frontiers in THz Technology, Pos1.8, Nov. 2012.
- [2] A. Hirata, T. Kosugi, H. Takahashi, R. Yamaguchi, F. Nakajima, T. Furuta, H. Ito, H. Sugawara, Y. sato, and T. Nagamatsu, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. 54, no. 5, pp.1937-1944, May 2006.
- [3] H. Tomioka, M. Suhara, and T. Okumura, IEICE Trans. Electronics, Vol. E92-C, no. 2, pp.269-274, Feb. 2009.
- [4] M. Reddy, M. J. Mondry, M. J. W. Rodwell, S. C. Martin, R. E. Muller, R. P. Smith, D. H. Chow, and J. N. Schulman, J. Appl. Phys., Vol. 77, No. 9, 1 May 1995.
- [5] M. Ahmed, M. Yamada, M. Saito, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 37, No. 12, Dec 2001.

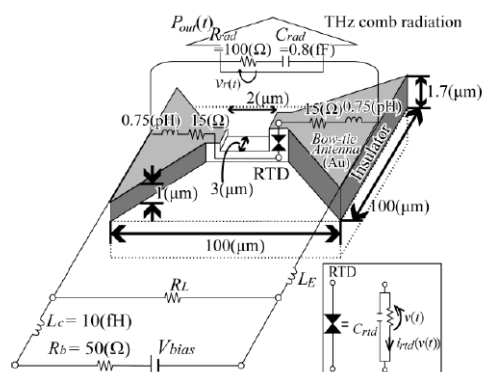


Fig.1 A model of analysis for THz comb source by using a RTD and a bow-tie antenna.

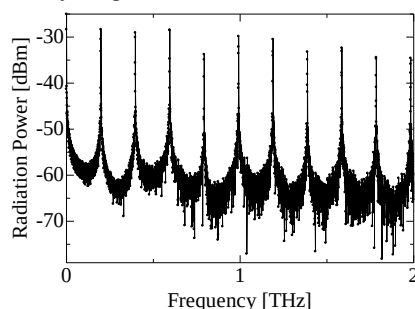


Fig.2 A calculated example of THz comb spectrum taking shot noise components into account.