29p-D1-1

非一様障壁高さを有する三重障壁共鳴トンネルダイオードのゼロバイアス検波特性の解析

An analysis of zero bias detectors by using triple-barrier resonant tunneling diode with non-uniform barrier height

首都大学東京 [1]　University of Duisburg-Essen[2]
○岡崎 俊道 [1], 斉藤 光史 [1], 須原 理彦 [1], Werner Prost[2]
Tokyo Metropolitan University[1], University of Duisburg-Essen[2]
○Toshimichi Okazaki[1], Mitsufumi Saito[1], Michihiko Suhara[1], Werner Prost[2]
E-mail: okazaki-toshimichi@ed.tmu.ac.jp

1. はじめに

ゼロバイアス検波とは、直流バイアスを印加せずに信号を検波する方法であり、利点として検波デバイスの低消費電力化・小型化が挙げられる。最近では、THz ゼロバイアス検波に関する研究も盛んに行われており[1]、我々は、ボウタイアンテナと三重障壁共鳴トンネルダイオード（TBRTD）を集積したレクテナ[2]による、THz 帯で動作する微弱信号の高感度なゼロバイアス検波素子の実現を目指している。しかし、検波感度を最大とする TBRTD の最適構造の検討は不十分である。そこで本研究では、非一様障壁高さを有する TBRTD を用いた集積レクテナにおける、最適構造の検討を目指して、TBRTD のバンド構造と検波感度との関係を理論解析した。

2. 解析モデル＆解析結果

ゼロバイアス検波感度を向上させるには、J-V 特性の非対称性を強くするために、ピーク電流密度 J_p を大きく、ピーク電圧 V_p を小さく、逆方向電流密度を小さくすることが基本方針となる。しかし、TBRTD の構造変化に対して、それらは相互に関係しながら複雑に変化する。そこで、構造が変化した際の検波感度に対する影響を直接比較するため、InGaAs を井戸、AlAs または InAlAs を障壁とした TBRTD をボウタイアンテナに集積した検波デバイスをモデルとし、周波数 1THz、入射電力 1μW の信号を照波した時の検波感度を、様々な TBRTD 構造に対して計算した。Fig.1 は、非一様バリア高さを用いて J_p の増大化を行った TBRTD の J-V 特性の実測結果と、解析に用いた Voigt 関数での J-V 特性の理論解析例である。Fig.2 は、TBRTD の 2 つの量子井戸の膜厚を変えた時のゼロバイアス検波感度を比較したものである。なお、検波感度は今回のレクテナモデルに対する等価回路[3]を用いて、ハーモニック・バランス法で非線形特性を計算した。

その結果、例えば、Fig.2 中の LHH 構造における検波感度の最高結果と、HHL 構造における最高結果を比較すると、HHL の方が J_p が大きく、V_p が小であるにも関わらず、逆方向電流抑制効果が LHH に比べて小さく、結果的に検波感度は LHH の最高結果が優位になるなどのトレードオフが生じることが分かった。なお、TBRTD の寄生容量 C_{rtd} は全ての構造について一定としたが、C_{rtd} の変化により Fig.2 の相対的な順位関係は変化しない。

3. まとめ

非一様障壁高 TBRTD の J-V 特性および検波感度を、様々な構造について計算し比較した。その結果、非一様障壁高 TBRTD は、均一障壁高 TBRTD と比較して、ピーク電流密度をより高くし、なおかつ THz ゼロバイアス検波効率を大きくする設計が可能であることを示唆した。

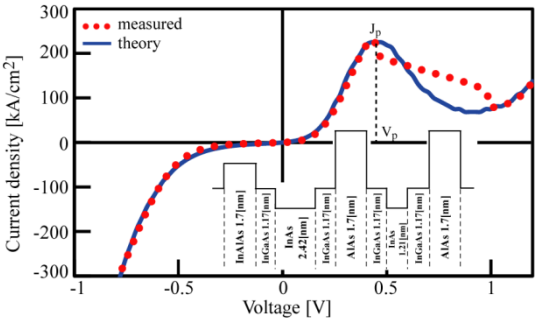

Fig.1 Measured data and theoretical analysis of J-V characteristics in the TBRTD with non-uniform barrier height

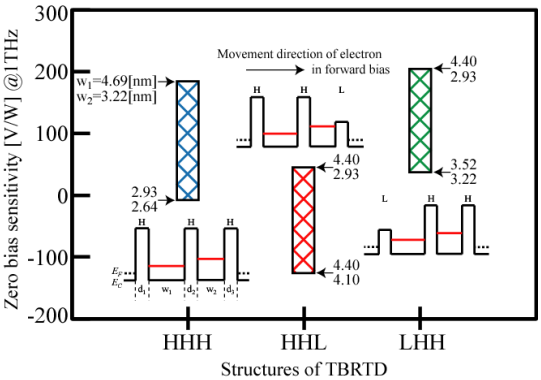

Fig.2 Comparison of calculated zero bias detection sensitivity for different quantum well width of TBRTDs, integrated with bowtie-antenna. Incident wave frequency is 1THz, and power is -30dBm.

参考文献

[1]L. Liu, et al. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 20, No. 9, pp.504-506, September, (2010)
[2]M. Suhara, et al. IEEE Device Research Conference 3-17 p77-78 (2012)
[3]M. Nakamura, et al. Phys. Status. Solidi. C9, 2, 377(2012)

© 2013 年　応用物理学会