

三重障壁共鳴トントネルダイオードの非線形微分コンダクタンスの解析

Analysis of nonlinear differential conductance in triple-barrier resonant tunneling diodes

首都大・都市教養¹, 首都大院理工², 都立産技高専³, ○中西 真崇¹, 奥村 直人², 須原 理彦², 浅川 澄人³

Tokyo Metro.Univ. Urban Lib.¹, S&E², Tokyo Metro.College of Industrial Tech.³,

○Masataka Nakanishi¹, Naoto Okumura², Michihiko Suhara², Kiyoto Asakawa³

E-mail: nakanishi-masataka@ed.tmu.ac.jp

1 はじめに

微分負性抵抗特性 (NDR) を生じる化合物半導体二重障壁共鳴トンネルダイオード (DBRTD) は、至近では 1.98THz での室温発振達成 [1] が報告されている。一方、二つの隣接量子井戸に形成する量子準位高さの一致/不一致をバイアス電圧で変化させる三重障壁共鳴トンネルダイオード (TBRTD) は正負どちらかのバイアスのみに NDR が生じる構造であり、ゼロバイアス近傍には非対称な I - V 特性を生じることから、NDR 領域へのバイアス印加時にはテラヘルツ発振、ゼロバイアス時にはテラヘルツ検波の両機能の設計可能性が潜在している。非線形な微分コンダクタンス $G(V)$ は TBRTD の動的振る舞いによる van der Pol 型の弛張振動を含む発振波形や検波波形へ敏感に影響する。そこで、本報告では TBRTD の $G(V)$ の非線形性を実測データ解析から明らかにし、特に NDR 領域における高次非線形コンダクタンスのバイアス電圧にともなう変化を明らかにすることを目的とした。

2 解析手法と結果

GaInAs/AlAs 系 TBRTD の室温測定結果 [2] と理論式による I - V 特性の解析結果を Fig.1 に示す。我々の理論式は共鳴エネルギー準位幅をローレンツ関数的広がりやガウス関数的広がりとの畳み込み積分関数 (Voigt 関数) [3] によって記述する点を特色としているが、Voigt 関数表現のままでは $G(V)$ の高次の非線形成分とデバイスパラメータとの関係性が明確に議論できない。そこで今回は共鳴準位広がりやをローレンツ関数で表した理論関数 (フィッティング精度は Fig.1 のように補償したもの) を各バイアス点においてテラ展開した。一方でこのデバイスのゼロバイアス近傍の I - V 特性のフィッティングには Voigt 関数が不可欠であることがわかった。

最終的に NDR 領域とその近傍における $G(V)$ を

$$G(V) = \sum_{n=1}^3 G_n(V) V^{n-1} \quad (1)$$

で表し、各次数の非線形微分コンダクタンス $G_n(V)$ の電圧依存性を Fig.2(a),(b),(c) のように実測結果から抽出した。その結果直流バイアス動作点を NDR 領域内で変化させると $n = 1, 2, 3$ 成分の寄与バランスが大きく変化することを定量的に明らかにした。なお $G_n(V)$ が TBRTD の二つの量子準位の高さや共鳴準位幅などのデバイスパラメータの関数として陽に記述されていることが本解析の特長である。今回の解析指針と別途行う TBRTD の動的解析結果とを照合・考察することにより TBRTD を用いたテラヘルツ送信器としての設計可能性を検討する。

3 まとめ

三重障壁共鳴トンネルダイオードの実測結果から非線形微分コンダクタンスの高次成分のバイアス電

圧依存性を明らかにする解析を行った。高次の非線形成分の大きさは発振特性に大きく影響を及ぼす。今後 TBRTD をアンテナやフォトダイオードと集積する我々の提案デバイスでの広帯域変調特性等を検討していく。

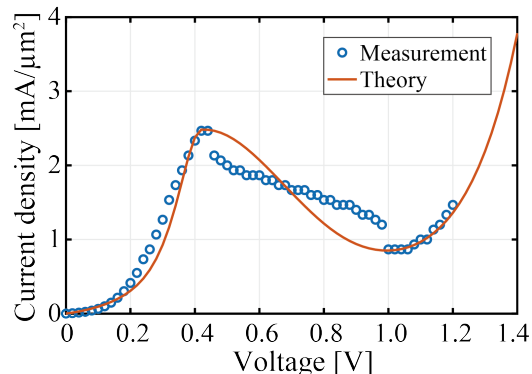


Fig. 1: I - V in GaInAs/AlAs based TBRTDs. Measurement [2] and theory (this work).

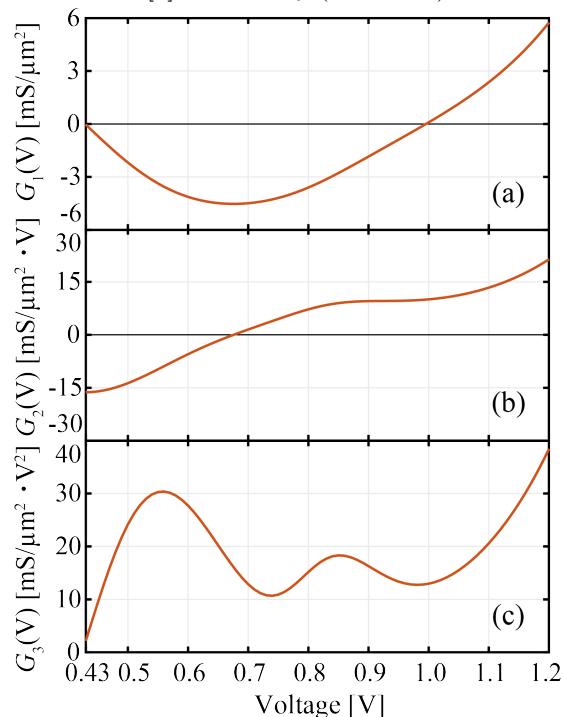


Fig. 2: Evaluation of nonlinear differential conductance. (a) $G_1(V)$, (b) $G_2(V)$ and (c) $G_3(V)$.

参考文献

- [1] R.Izumi, et.al., IRMMW-THz MA3.1, 2017
- [2] G. Keller, et al., EuMIC14-1, 2013
- [3] H. Shin-ya, et al., IEICE, E93-C, 2010