

GaAsSb/InGaAs バックワードダイオードによるマイクロ波帯検波の理論解析 Theoretical analysis of microwave detection in GaAsSb/InGaAs backward diodes

首都大院理工¹, 首都大・都市教養² ○ 須原 理彦¹, 山下 晋平², 田中 翔馬², 熊谷 翔², 石黒 裕也¹, 都立産技高専³ 浅川 澄人³, 富士通⁴, 富士通研⁵, 河口 研一^{4,5}, 高橋 剛^{4,5}, 佐藤 優^{4,5}, 岡本 直哉^{4,5}

Tokyo Metro. Univ. S&E¹, Tokyo Metro. Univ. Urban Lib.² ○ Michihiko Suhara¹, Shinpei Yamashita², Shoma Tanaka², Sho Kumagai², Yuya Ishiguro¹, Tokyo Metro. Col. of Indus. Tech.³ Kiyoto Aksakawa³, Fujitsu Ltd.⁴, Fujitsu Labs.⁵ Kenichi Kawaguchi^{4,5}, Tsuyoshi Takahashi^{4,5}, Masaru Sato^{4,5}, Naoya Okamoto^{4,5}

E-mail: suhara@tmu.ac.jp

1 はじめに

環境電波エネルギーハーベスティングに資する高感度検波の可能性を潜在している素子として我々はバックワードダイオード (BWD) に着目している。本稿では、試作した p-GaAsSb/n-InGaAs の電流-電圧 I - V 特性および S パラメータ特性の実測データを評価し、マイクロ波帯の検波感度の理論予測を行ったので報告する。

2 解析と結果

試作したのは InP に格子整合した p-GaAsSb/n-InGaAs の pn 接合を有する MOCVD 成長 BWD である。エピ構造はゼロバイアス領域に顕著な非線形性を生じ、Esaki ダイオードに生じる微分負性抵抗特性は抑制するように設計した。なお既報告の GaAsSb 系 BWD[1] は pin 構造を採用している点が今回のエピ構造と異なる。

Fig.1 は理論解析に用いた BWD のゼロバイアス時のバンド構造とトンネル透過確率の計算例である。Fig.2 はメサ直径 $2.0\mu\text{m}$ の BWD の室温 I - V 特性の測定データに対する理論計算の良好なフィッティング結果の一例を示す。理論解析にはトンネル電流成分に加え pn 接合に生じる再結合型および拡散型の電流成分も考慮している。この I - V のゼロバイアスにおける曲率係数 $\gamma = (d^2I/dV^2)/(dI/dV)$ は $31.7[\text{V}^{-1}]$ であった。

マイクロ波帯の S パラメータの実測値よりメサ直径 $2.0\mu\text{m}$ の BWD の 2GHz 近傍のアドミタンス虚部は周波数依存がなくキャパシタンスは $C = 24[\text{fF}]$ と見積もられた。一方 C のメサ面積依存性より寄生容量は $5.0[\text{fF}]$ と評価された。ダイオードの入出力でインピーダンス整合が理想的になされていると仮定した場合の小信号電圧検波感度 $\beta(\omega)$ は通常 γ , 接合抵抗 R_j , 直列抵抗 R_s , C および周波数の関数で表されるが、今回試作した BWD では $R_s = 4.2[\Omega]$, ゼロバイアスで $R_j = 5.6 \times 10^6[\Omega]$, と評価され, $R_s \ll R_j$ であることから $\beta(\omega)$ は次式で表される。

$$\beta(\omega) \approx \frac{\beta_0}{1 + \omega^2 C^2 R_s R_j} \quad (1)$$

ここで $\beta_0 = R_j \gamma / 2$ は $\beta(\omega)$ のカットオフ周波数より十分小さい領域の検波感度であり R_j の面積依存性が反映される。メサ直径 $2.0\mu\text{m}$ の BWD では数 GHz 対はカットオフ以下領域であることがわかり, β_0 は $10^7[\text{V/W}]$ オーダと予測されることがわかった。

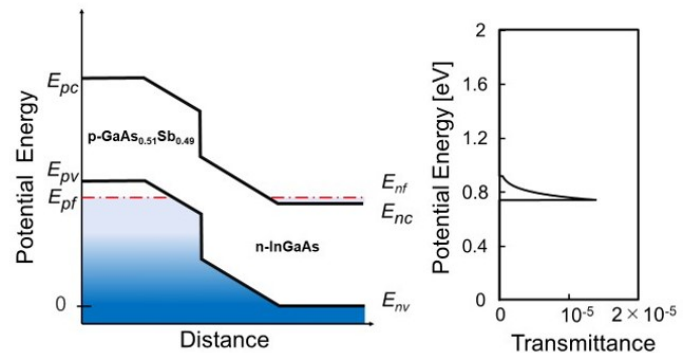


Fig. 1: BWD のモデルと透過確率の計算例

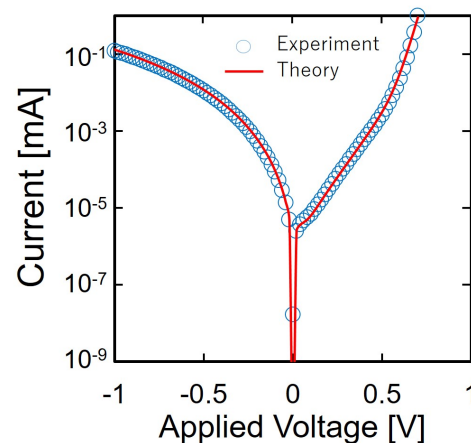


Fig. 2: BWD の室温 I - V 特性の解析例

3 まとめ

p-GaAsSb/n-InGaAs バックワードダイオードの実測結果を評価しマイクロ波帯の検波感度の理論予測を行った。メサ直径 $2.0\mu\text{m}$ の BWD の理想整合・小信号電圧検波感度を理論予測した。環境電波エネルギーハーベスターとしての構築・設計には、アンテナとの集積した場合の評価や出力側の整合も考慮し、微小電波を対象にした高感度化を検討していく。

謝辞

本研究は JST CREST(JPMJCR16Q3) の支援を受けている。

参考文献

- [1] T.Takahashi, et.al., JJAP, 49, 104101, 2010