

「素材・デバイス・システム融合による革新的ナノエレクトロニクスの創成」  
平成 27 年度採択研究代表者

H28 年度  
実績報告書

富士田 誠之

大阪大学大学院基礎工学研究科  
准教授

共鳴トンネルダイオードとフォトニック結晶の融合による  
テラヘルツ集積基盤技術の創成

## § 1. 研究実施体制

### (1) 阪大グループ

- ① 研究代表者: 富士田 誠之 (国立大学法人大阪大学大学院基礎工学研究科, 准教授)
- ② 研究項目
  - ・共鳴トンネルダイオードとフォトニック結晶の融合に向けた基盤研究
  - ・共鳴トンネルダイオード送受信器を用いた無線通信

### (2) ロームグループ

- ① 主たる共同研究者: Jae-Young Kim (ローム株式会社基礎研究開発部, 主任研究員)
- ② 研究項目
  - ・共鳴トンネルダイオードデバイスの高度化に向けた基盤研究
  - ・0.3 THz 帯共鳴トンネルダイオード送受信器を用いた無線通信

### (3) 東工大グループ

- ① 主たる共同研究者: 鈴木 左文 (国立大学法人東京工業大学工学院, 准教授)
- ② 研究項目
  - ・共鳴トンネルダイオードテラヘルツ発振器の高性能化
  - ・0.5 THz 帯を超える超高周波共鳴トンネルダイオード送信器を用いた無線通信

## § 2. 研究実施の概要

本研究は、デバイス・材料・回路・システムの研究者が結集して、量子エレクトロニクスデバイスと微細構造フォトニック材料、高周波回路、通信システム技術を融合させることで、電波と光波の間の未開拓の周波数を有するテラヘルツ電磁波を利活用可能にする集積デバイスシステムの学理を創成することをねらいとしている。単体の電子デバイスとして最も高い 1 THz を超える周波数でテラヘルツ波を発生可能な量子薄膜ナノ構造を有する小型電子デバイス共鳴トンネルダイオードに着目し、通信速度の限界を追究する。その物理限界を超えるため、共鳴トンネルダイオードと極低損失な集積プラットフォームとなる人工材料フォトニック結晶とを融合した集積デバイスを創成する。その結果、本研究以前には無線通信の実施例がないような高い周波数帯を利用可能にし、0.3 THz から 2 THz にわたる従来にない広大な周波数帯域を利用した 100 Gbit/s を超え、Tbit/s に迫る超高速無線通信に向けた新たな集積基盤技術を開発し、テラヘルツ波を用いた情報伝送のデモンストレーションを行うことを目標とする。

今年度は昨年度に引き続き、テラヘルツフォトニック結晶および共鳴トンネルダイオード、それぞれの基盤技術に関する研究を推進するとともに、両者の高効率な結合の実現と、共鳴トンネルダイオードデバイスの通信速度の更新を目指した。

昨年度までに示したフォトニック結晶導波路の低損失性を十分に活用するためには、共鳴トンネルダイオードとフォトニック結晶導波路との結合効率を向上させる必要がある。そのために導波器構造を有するダイオードチップをフォトニック結晶導波路へ埋め込む新たな構造を考案し、従来の数%以下を大きく上回る 50%以上の結合効率を得られる設計のデバイスを 0.3 THz 帯で作製し、受信器として動作させることで結合効率を評価し、所期の高効率結合動作の実証に成功した。さらに、フォトニック結晶導波路と集積化した 10000 を超えるような高い共振器 Q 値を有するテラヘルツフォトニック結晶共振器を実現した<sup>1)</sup>。

また、共鳴トンネルダイオードの基本性能向上へ向けて、さらには広大な周波数帯域を活かした将来の超広帯域通信への可能性を切り拓くため、発振周波数の高周波化に関する研究と高出力化に関する研究を行った。アンテナ電極厚膜化による導体損失の低減を行うことで、2 THz に迫る 1.98 THz の基本波発振を得て、単一の電子デバイスにおける最高発振周波数の記録を更新した。そして、0.9 THz 帯にて 26 素子アレイの発振器を作製することで 440  $\mu$ W という出力を得るとともに、アレイ化におけるコヒーレント結合という課題を明らかにした。

さらに、インピーダンス整合の回路設計を施した 0.3 THz 帯の共鳴トンネルダイオードを送信器および受信器として用いることで、9 Gbit/s のエラーフリー通信を達成するとともに、非圧縮 4K 映像伝送に成功した<sup>2)</sup>。また、0.5 THz 帯共鳴トンネルダイオード送信器での実験<sup>3)</sup>を踏まえ、0.65 THz 帯送信器において、実装に用いるワイヤボンディングの本数を増やすことで変調回路のインダクタンスを低減し、変調カットオフ周波数を向上させることで、25 Gbit/s のエラーフリー通信にも成功した。また、無線通信実験の最高キャリア周波数をこれまで未開拓領域であった 0.8 THz 帯に向上させることができた。そして、さらなる大容量通信に向けて、0.5 THz 帯と 0.8 THz 帯の 2 チャネルを用いた周波数多重通信と、0.5 THz 帯にて、偏波多重通信に関する 1 チャネルあたり 28 Gbit/s (合計 56 Gbit/s) の通信実験を行い、 $2 \times 10^{-3}$  以下のビット誤り率を評価した。

○代表的な論文

1. Kazuma Okamoto, Kazuisao Tsuruda, Sebastian Diebold, Shintaro Hisatake, Masayuki Fujita, and Tadao Nagatsuma, “Terahertz sensor using photonic crystal cavity and resonant tunneling diodes,” *J. Infrared Milli. Terahz. Waves*, vol. 38, 2017. doi:10.1007/s10762-017-0391-0
2. Sebastian Diebold, Kousuke Nishio, Yousuke Nishida, Jaeyoung Kim, Kazuisao Tsuruda, Toshikazu Mukai, Masayuki Fujita, and Tadao Nagatsuma, “High-speed error-free wireless data transmission using a terahertz resonant tunnelling diode transmitter and receiver,” *Electron. Lett.*, vol. 52, no. 24, pp. 1999-2001, 2016.
3. Naoto Oshima, Kazuhide Hashimoto, Safumi Suzuki, and Masahiro Asada, “Wireless data transmission of 34 Gbit/s at a 500-GHz range using resonant-tunnelling-diode terahertz oscillator,” *Electron. Lett.*, vol. 52, no. 22, pp. 1897-1898, 2016.