

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 (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関する基盤研究
 - ・共鳴トンネルダイオードを用いた通信の開発

(2)「ローム」グループ

- ① 主たる共同研究者: 金 在瑛 (ローム(株)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を用いた通信の開発

(3)「東工大」グループ

- ① 主たる共同研究者: 鈴木 左文 (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を用いた通信の開発

§ 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、通信システム技術と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。

今年度は昨年度までに引き続き、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、両者の融合とそれによるテラヘルツ発振の制御の実現を目指した。

昨年度までに実現した 10000 を超えるような高い共振器 Q 値を有する 0.3 THz 帯のフォトニック結晶共振器と共鳴トンネルダイオードとの結合を試みた。共鳴トンネルダイオードの駆動バイアス電圧を変化させると電気特性の変化によって発振周波数が変化するが、共鳴トンネルダイオードとフォトニック結晶共振器の結合が弱い場合、その透過率の周波数依存性は、共振器固有の特性を示し、分光センシングに適用可能なことが判明した¹⁾。一方、結合が強い場合には、共鳴トンネルダイオードの発振状態がフォトニック結晶共振器の影響を強く受け、発振周波数の駆動バイアス電圧依存性が抑制されることが理論解析により明らかになった。以上を踏まえ、共鳴トンネルダイオードとフォトニック結晶共振器の結合効率を向上させたデバイスを作製し、発振スペクトルを評価することで、「フォトニック結晶による共鳴トンネルダイオードの発振状態の制御」という本研究の重要なコンセプトの実証に成功した。

また、共鳴トンネルダイオードデバイスの性能向上、特に高出力化に向けて、1 THz 帯にて 89 素子アレイの発振器を作製し、総出力として 0.73 mW が得られた。一方で、このような大規模アレイにおけるコヒーレント結合に関する課題の解決に向けて、共鳴トンネルダイオードの発振状態の制御の必要性が示された。加えて、共鳴トンネルダイオードの受信器としての高感度化に向けて、注入同期現象によって受信の不安定性を解消した発振状態を局部発振器およびミキサとして利用することで、従来の直接検波動作よりも一桁以上の高感度検波が可能であることを見いだした。

さらに、大容量通信に向けて、発振周波数および偏波の異なる発振器を 1 ミリ角のチップに 4 つ集積化した共鳴トンネルダイオードデバイスの開発を進め、各チャネルが 30 dB 以上分離されており、周波数多重および偏波多重に適用可能であることを示した²⁾。また、フォトニック結晶を集積プラットフォームとするデバイスの無線通信応用に向けて、フォトニック結晶導波路と一体形成された低損失な全誘電体アンテナデバイスを提案し、10 dBi 以上のアンテナ利得を有する小型テラヘルツデバイスの作製に成功した³⁾。

○代表的な論文

1. Kazuma Okamoto, Kazuizao Tsudura, Sebastian Diebold, Shintaro Hisatake, Masayuki Fujita, and Tadao Nagatsuma, “Terahertz sensor using photonic crystal cavity and resonant tunneling diodes”, *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, vol. 38, no. 9, pp. 1085–1097, 2017.
2. Naoto Oshima, Kazuhide Hashimoto, Safumi Suzuki, and Masahiro Asada, “Terahertz wireless data transmission with frequency and polarization division multiplexing using resonant-tunneling-diode oscillators”, *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, vol. 7, no. 5, pp. 593–598, 2017.
3. Withawat Withayachumnankul, Ryoumei Yamada, Christophe Fumeaux, Masayuki Fujita, and Tadao Nagatsuma, “All-dielectric integration of dielectric resonator antenna and photonic crystal waveguide”, *Optics Express*, vol. 25, no. 13, pp. 14706–14714, 2017.