

「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

H27 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: 大西 大 (ローム株式会社センサ事業推進, 係長)
- 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: 浅田 雅洋 (国立大学法人東京工業大学大学院総合理工学研究科, 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、これまでに無線通信の実施例がない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無線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、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テラヘルツフォトニック結晶およびテラヘルツ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と、現時点での共鳴トンネルダイオードデバイスの通信速度の限界を追究することを目的とした。

集積プラットフォームとなるフォトニック結晶を用いたテラヘルツ波導波路に関して、系統的な評価を行い、その伝搬損失を見積り、低損失性を追究した。伝搬損失は、フォトニック結晶を構成するシリコン基板の抵抗率が高くなるほど減少し、加工精度に起因する散乱損失ではなく、シリコン中の自由キャリアに起因する吸収損失が支配的な損失要因であることが明らかになった。20 kΩcm の抵抗値の試料に対して得られた 0.33 THz における伝搬損失 0.04 dB/cm は、これまでに報告されている平面金属線路の 0.3 THz 帯の伝搬損失よりも 2-3 桁小さく、光波領域も含めたあらゆるフォトニック結晶平面導波路の中で最小の伝搬損失であり、フォトニック結晶のテラヘルツ集積プラットフォームとしての有用性が示された¹⁾。

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を行った。量子薄膜構造の最適化によってデバイスの遅延時間を低減し、低損失なエアブリッジ構造の導入によって、単体の電子デバイスとして、最高周波数となる 1.92 THz の発振を得た²⁾。そして、共鳴トンネルダイオードデバイス設計の基盤技術として、共鳴トンネルダイオードの回路モデルを構築した。得られた回路モデルを利用して、共鳴トンネルダイオード発振器とミキサを集積化した新規デバイスの設計を行った³⁾。

さらに、0.3 THz 帯の共鳴トンネルダイオード送信器と受信器を用いた強度変調・直接検波方式による無線通信実験を行った。リアルタイムの映像伝送を可能とするビット誤り率 10^{-11} 以下の実用的な通信品質条件において、従来の最高通信速度である 2.5 Gbit/s を更新する 4 Gbit/s の無線通信に成功した。加えて、0.5 THz 帯の共鳴トンネルダイオード送信器の強度変調動作による 30 Gbit/s の無線通信実験を行い、ビット誤り率 1×10^{-3} を評価した。

○代表的な論文

1. Kazuisao Tsuruda, Masayuki Fujita, and Tadao Nagatsuma, “Extremely low-loss terahertz waveguide based on silicon photonic-crystal slab”, *Opt. Express*, vol. 23, no. 25, pp. 31977-31990, 2015.
2. Takeru Maekawa, Hidetoshi Kanaya, Safumi Suzuki, and Masahiro Asada, “Oscillation up to 1.92 THz in resonant tunneling diode by reduced conduction loss”, *Appl. Phys. Express*, vol. 9, no. 2, pp. 024101-1-024101-4, 2016.
3. Sebastian Diebold, Kazuisao Tsuruda, Jae-Young Kim, Toshikazu Mukai, Masayuki Fujita and Tadao Nagatsuma, “A terahertz monolithic integrated resonant tunneling diode oscillator and mixer circuit”, *Proc. SPIE*, vol. 9856, pp. 98560U-1-98560U-6, 2016.