

情報担体を活用した集積デバイス・システム
2021年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

富士田 誠之

大阪大学 大学院基礎工学研究科
准教授

時空間分布制御テラヘルツ集積デバイスシステムの創成

主たる共同研究者:

有川 敬 (京都大学 大学院理学研究科 助教)

鈴木 左文 (東京工業大学 工学院 准教授)

研究成果の概要

本研究では情報担体として、電波と光の境界領域の未開拓周波数を有するテラヘルツ帯の電磁波に着目する。デバイス科学の極限領域であるテラヘルツ周波数において基本波発振可能な量子効果電子デバイス共鳴トンネルダイオードの発振状態をその時間発展に着目し、フォトニクス的なアイデアで制御することで、低雑音で安定なテラヘルツ信号源の開発を行うとともに、従来の限界を超えた高い周波数での発振を目指す。共鳴トンネルダイオードの空間分布を制御して多数集積化することで、単体デバイスの物理限界を超えた高出力なコヒーレントテラヘルツ発振器を実現し、通信容量の増大や情報通信とセンシングとが融合した新たなシステムの創成を目指す。

今年度は電子デバイスであるテラヘルツ共鳴トンネルダイオード発振器がフォトニックデバイスであるレーザと同様のメカニズムでモード同期発振をすることを示唆する結果が得られ、そのモード同期状態が駆動バイアス電圧によって制御され、いわゆる周波数コム状態になるという結果が得られた。共鳴トンネルダイオードの発振制御の高周波化に向けて、1 THz 帯を超える周波数で動作するテラヘルツ回路の開発を進め、シリコン誘電体導波路によって、0.75 THz から 1.1 THz にわたる全帯域において、伝搬損失 0.1 dB/cm 以下という極低損失回路を実現した。高出力テラヘルツデバイスの実現に向けて、インダクタを抑制できるため大面積でも高い周波数での動作が可能な空洞共振器デバイスの放熱性を向上させることで、従来よりも一桁大面積のデバイスで 0.86 mW という高出力動作が 0.61 THz で得られた。さらに、共鳴トンネルダイオードのシステム応用として、0.3 THz 帯にて 68 Gbit/s に相当する多値変調無線通信と 0.6 THz 帯にて 3 次元イメージングの実験を行った。また、テラヘルツ帯の新たなインターコネクト技術として、フレキシブルな中空ファイバに着目し、高精細非圧縮映像の伝送実験に成功した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Tomoki Hiraoka, Yuta Inose, Takashi Arikawa, Hiroshi Ito, Koichiro Tanaka, “Passive mode-locking and terahertz frequency comb generation in resonant-tunneling-diode oscillator”, *Nature Communications*, vol. 13, pp. 3740-1–3740-8, 2022.
- 2) Ratmalgre Koala, Ryoma Maru, Kei Iyoda, Li Yi, Masayuki Fujita and Tadao Nagatsuma, “Ultra-low-loss and broadband all-silicon dielectric waveguides for WR-1 band (0.75–1.1 THz) modules”, *Photonics*, vol. 9, no. 8, pp. 515-1–515-19, 2022.
- 3) Julian Webber, Takumi Yamamoto, Naoki Nishigami, Yosuke Nishida, Masayuki Fujita, Tadao Nagatsuma, “Multi-level wireless transmission using resonant tunneling diodes in 300-GHz band”, *Electronics Letters*, vol. 59, no. 5, pp. e12731-1–e12731-3, 2023.
- 4) Adrian Dobroiu, Kotaro Asama, Safumi Suzuki, Masahiro Asada, Hiroshi Ito, “Terahertz-wave three-dimensional imaging using a resonant-tunneling-diode oscillator”, *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, vol. 43, no. 6, pp. 464–478, 2022.
- 5) Ratmalgre Koala, Kei Iyoda, Weijie Gao, Yuji Matsuura, Masayuki Fujita, Tadao Nagatsuma, “Terahertz fiber link using dielectric silicon waveguide interface”, *Optics Express*, vol. 31, no. 5, pp. 7351–7362, 2023.