

## 1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名：共鳴トンネルダイオードを用いたテラヘルツ無線通信と映像伝送に関する研究開発
- ◆受託者：国立大学法人大阪大学，ローム（株），国立大学法人東京工業大学，アストロデザイン（株），地方独立行政法人大阪産業技術研究所
- ◆研究開発期間 令和3年度～令和5年度（3年間）
- ◆研究開発予算（契約額）令和3年度から令和5年度までの総額135百万円（令和5年度35百万円）

## 2. 研究開発の目標

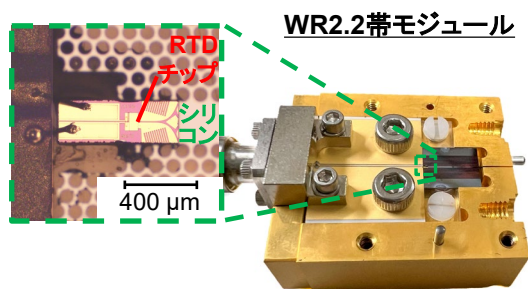
Beyond 5Gで求められる超高速・大容量通信を実現するため、テラヘルツ波、特にトランジスタでは困難な300 GHzを超える周波数の利用に着目する。量子効果電子デバイス共鳴トンネルダイオード(RTD: Resonant Tunneling Diode)によって、50 Gbit/s級の無線通信を目指し、800 GHzを超える未踏領域に挑戦する。そして、Beyond5Gのアウトカム応用として期待される超高精細8K映像の低遅延伝送を可能とする非圧縮伝送技術を創出する。

## 3. 研究開発の成果

### 研究開発項目1 共鳴トンネルダイオードデバイスの研究開発

### 研究開発目標

### 研究開発成果



WR2.2帯モジュール

アレイデバイス



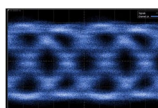
1-1. 300 GHz帯を超え、400 GHz帯で動作するシリコンプラットフォームを介して、WR2.2帯(330-500 GHz)導波管へ実装可能な共鳴トンネルダイオード発振器を開発するとともに、研究開発項目1-2の知見を活かした1mW級動作デバイスを実現した。  
 1-2. 800 GHzを超える超高周波動作可能な高出力共鳴トンネルダイオードデバイスの実現に向けて、抵抗を介したスロット構造共振器によって、6台までの発振器を結合させたデバイスを作製し、900 GHz以上の周波数でのコヒーレントアレイ発振動作を得た。  
 1-3. 50 Gbit/s級の通信に向けたWR2.2帯実装のために試作した導波管筐体、シリコンテラヘルツ誘電体回路およびベースバンド実装基板を用いて、研究開発項目1-1で開発した共鳴トンネルダイオードを実装し、400 GHz帯での発振を実現した。  
 1-4. フォトリソグラフィと反応性イオンエッチングによる加工プロセスを改良した400 GHzを超える周波数で動作可能なシリコンテラヘルツ誘電体回路の開発を行った。

### 研究開発項目2 共鳴トンネルダイオード通信システムの研究開発

#### テラヘルツ伝送実験

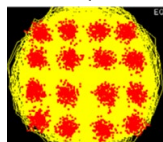
#### 32 Gbit/s非圧縮映像シングルキャリア無線伝送

オンオフ変調

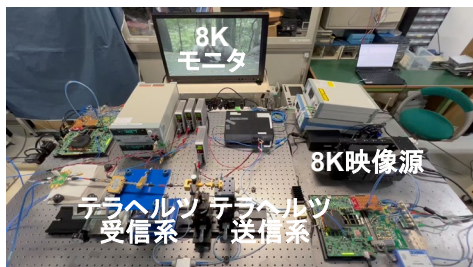


39 Gbit/s  
[ビット誤り率<math>10^{-11}</math>]

16-QAM



68 Gbit/s  
[ビット誤り率<math>2 \times 10^{-3}</math>]



2-1. 新たに見出したテラヘルツ共鳴トンネルダイオードの増幅検波動作によって、オンオフ変調で従来を超える39 Gbit/sの伝送速度を得るとともに、送信方式として中間周波数に多値変調を行った信号を搬送させ、共鳴トンネルダイオードを受信器として用いる無線通信システムにおいて、50 Gbit/sを超える60 Gbit/s級の伝送実験を実現した。  
 2-2. 研究開発項目1-2で開発した共鳴トンネルダイオードの実装プロセスを進め、800 GHz超の超高周波数帯で動作するデバイスでのギガビット級無線通信実験を行った。  
 2-3. 8K映像信号と共鳴トンネルダイオードデバイスを接続するための映像信号処理装置をFPGAを用いて開発することで、シングルキャリア無線伝送の映像信号として、これまでで最高のデータレートとなる32 Gbit/sの非圧縮超高精細映像(フレーム周波数 60 Hz 8K 4:2:0方式に相当)のテラヘルツ無線伝送実験に成功した。

#### 4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
0 (0)	0 (0)	12 (3)	83 (38)	0 (0)	2 (2)	3 (2)	5 (2)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

- (1) 本研究開発に関連するIEICE Electronics Express (ELEX)の論文「PAM4 48-Gbit/s wireless communication using a resonant tunneling diode in the 300-GHz band」がELEX Best Paper Award 2022を受賞する栄誉を得た。
- (2) 2024年3月7日に開催された電子情報通信学会関西支部第28回学生研究発表講演会にて、大阪大学および大阪産業技術研究所からの発表「300GHz帯シリコン誘電体導波路のコネクタ構造化に関する検討」が支部長奨励賞を受賞した。
- (3) 大阪産業技術研究所が2023年7月19日から20日にマイドーム大阪で開催された展示会「使えるセンサ技術展」および、2023年9月13日から15日に東京ビッグサイトで開催された展示会「センサエキスポジャパン」にて、本研究開発課題を紹介した。
- (4) 大阪大学の実施責任者が2023年9月20日に第84回応用物理学会秋季学術講演会で開催されたJSAP(応用物理学会)-Optica(米国光学会) Joint Symposia 2023において、「Terahertz integrated photonics based on photonic crystals and silicon microstructures」という題目でOptica Special Lectureを行った。
- (5) 大阪大学と東京工業大学の実施責任者が2023年9月17日に26th European Microwave Week(欧州マイクロ波会議)で開催されたワークショップ「Terahertz Device, Circuit and System Fundamentals and Applications」において、「Terahertz silicon photonics towards 6G and beyond」および、「Resonant tunneling diode technology for future THz applications」という題目でそれぞれ招待講演を行った。

#### 5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- ・映像伝送規格への展開に向けた同じボーレートで伝送レートが倍になるPAM-4変調方式での映像伝送技術の開発
  - ・低遅延な超高精細映像無線伝送を活かす人工知能や機械学習を用いた画像解析分野への展開
  - ・様々なシーンで8K超高精細映像が非圧縮で無線伝送可能となる技術開発を継続することによって、遠隔会議、医療、外観検査、建設、自動運転、セキュリティ、eスポーツ、コスメティクスなど、多くの分野への応用展開
  - ・テラヘルツ応用推進協議会やNICTとの連携を活用した共鳴トンネルダイオードを利用した無線通信技術の標準化活動
  - ・変復調信号処理部分に関するシリコンCMOSとのハイブリッド集積化によるパッケージおよびシステム全体の小型集積化
  - ・WRC-23での275-700 GHzを無線標定業務としてWRC-27の議題として提案することを受けたセンシングを含む様々な応用に向けた研究開発
  - ・無線通信で培われてきた高度な技術を活かしたセンシング、イメージングも含む新たな応用の開拓
  - ・無線通信とセンシングの融合を可能とする新たなデバイスシステム技術の研究開発
  - ・電子デバイスである共鳴トンネルダイオードとフォトニック構造との融合による新たな学術分野の開拓
- など