

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 超低雑音信号発生技術に基づく300GHz帯多値無線通信に関する研究開発
- ◆受託者 (大)大阪大学、IMRA AMERICA, INC、(大)九州大学、(大)東京大学、(学)北里研究所
- ◆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4年度までの総額523百万円(令和3年度107百万円)

2. 研究開発の目標

光技術に基づく300GHz帯の超低雑音信号発生技術を基に、光電変換技術ならびに受信技術の高度化を進め、同周波数帯における超多値無線システムを実現する。

3. 研究開発の成果

研究開発項目1 多値通信システム技術の開発
(2021年10月～2022年3月)

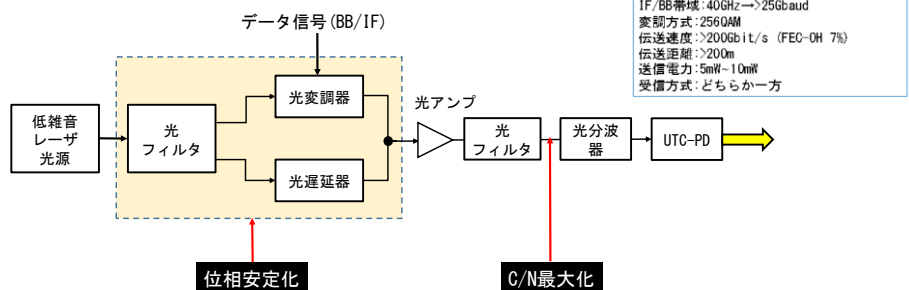
研究開発目標

研究開発成果

技術開発ターゲット

- ・RF帯域:30GHz
- ・IF/BB帯域:30GHz→20Gbaud
- ・変調方式:16QAM/32QAM
- ・伝送距離:<1m
- ・送信電力:0.05～0.1mW(従来のPDを使用)

伝送速度:>80Gbit/s(FEC-OH 7%)



研究開発項目1-a) 超低雑音送信システム
1-b) 高感度受信システム

2021年度 RF帯域:30GHz
IF/BB帯域:30GHz→20Gbaud
変調方式:16QAM/32QAM
伝送速度:>80Gbit/s(FEC-OH 7%)
伝送距離:<1m
送信電力:0.05～0.1mW(従来のPDを使用)
受信方式:ホモダイン(RTD/SBDを使用)

2022年度 RF帯域:30GHz
IF/BB帯域:30GHz→20Gbaud
変調方式:128QAM
伝送速度:>140Gbit/s(FEC-OH 7%)
伝送距離:>1m
送信電力:0.4～0.9mW(線形領域/PD単体)
受信方式:ホモダイン/ヘテロダイン

2023年度 RF帯域:40GHz
IF/BB帯域:40GHz→25Gbaud
変調方式:256QAM
伝送速度:>200Gbit/s(FEC-OH 7%)
伝送距離:>200m
送信電力:5mW～10mW
受信方式:どちらか一方

研究開発項目1-a) 超低雑音送信システム

研究開発項目2で開発される光源のプロトタイプと従来のUTC-PDを組み合わせ、上記の性能を実現するに十分な雑音性能の送信システムを開発するとともに、今後の性能向上に向けた課題を明らかにした。

研究開発項目1-b) 高感度受信システム

従来のUTC-PDとショットキーバリアダイオード(SBD)受信器をそれぞれ送受信フロントエンドに使い、イムラアメリカが開発中のレーザー光源(マイクロ光コムとブリルアン光源)を用いることにより、16QAMで72Gbit/s(18Gbaud)、32QAMで80Gbit/s(16Gbaud)の目標性能を達成(今年度分)した。

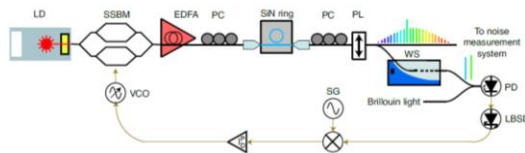
研究開発項目2 光源技術の開発

(2021年10月～2022年3月)

送受信デバイス評価向け超低雑音光源の開発

<光源ターゲットスペック>

- キャリア周波数:300GHz
- 光出力 >100mW
- 位相雑音: -110dBc/Hz
- 周波数可変幅: 100Hz～100GHz
- 実験室レベルで使用可能な状態



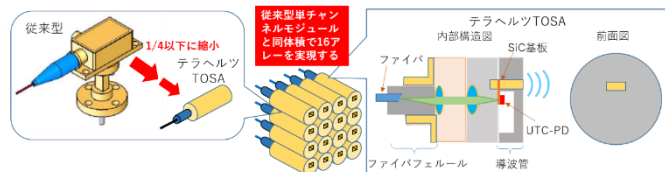
研究開発項目2 光源技術の開発

研究開発項目2)光源技術

これまで開発してきた超低雑音マイクロ光コムの特ラヘルツ無線通信での実力を把握するため、大阪大学と協業で通信実験を実施。光源には、低位相雑音だけでなく、**振幅強度ノイズ比60dB以上が必要である**知見を得た。マイクロ光コムをレーザーダイオードに注入し波長ロックする技術を開発し、実際の通信システムに必要な**出力パワー100mWにおいて振幅強度ノイズ比:60dB**を得ることに成功した。

研究開発項目3 送信フロントエンド技術の開発

(2021年10月～2022年3月)



- 研究開発項目3-a) 高出力フォトダイオード
300GHz帯において出力電力5mWの小型送信用光電変技術を実現する。
- 研究開発項目3-b) 広帯域3次元アレー型アンテナ
4×4の3次元アレー型アンテナを実現し、16台の特ラヘルツTOSA (Transmitter Optical Sub-Assembly)からの出力を電力合波し、高出力化と共にビームステアリング機能を実現する。

研究開発項目3-a) 高出力フォトダイオード

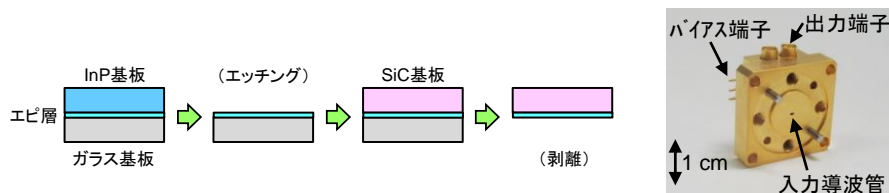
SiC上UTC-PDの300GHz帯特ラヘルツ波発生の見込みを得た。**従来型モジュール比1/4の体積の300GHz帯同軸型導波管モジュール**の設計を行った。

研究開発項目3-b) 広帯域3次元アレー型アンテナ

広帯域型3次元アレー型アンテナの構造設計を行い、**UV光硬化樹脂を用いた3Dプリンタ(RECILS)で造形できることを確認した**。また、RECILSで造形したストレート導波管構造にめっきを施したWR-3導波管(1インチ)を作製し、**市販の金属導波管と同程度の挿入損失**が得られること確認した。

研究開発項目4 受信フロントエンド技術の開発

(2021年10月～2022年3月)



- 研究開発項目4-a) 高感度特ラヘルツ波検出器
300GHz帯において動作する導波管入力型検出器モジュールを実現し、ダイナミックレンジを10dB以上拡大する。

研究開発項目4-a) 高感度特ラヘルツ波検出器

SiC基板貼付け技術を用いた導波管入力型検出器モジュール実現のため、エピウエハの成長、SiC基板との接合プロセス、素子作製プロセス、及び評価系の構築を進めると共に、モジュール筐体の作製を行った。また、予備検討で作製したSiC基板貼付け型FMBDにより、300GHz帯ヘテロダイナミックレンジにおいて、FMBDとして**これまでで最も低い雑音等価電力(NEP, 3×10^{-19} W/Hz)**を実現した。これにより、従来技術と比べ**ダイナミックレンジを10dB以上拡大**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・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
0 (0)	0 (0)	0 (0)	12 (12)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

※ 成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

<招待講演、依頼講演 計8件>

発表題目

(発表者)

- 1: フェルミレベル制御バリアダイオードを用いた低雑音テラヘルツ波検出
(伊藤 弘、石橋忠夫)
- 2: ミリ波・テラヘルツ通信における光技術の役割と将来展望
(永妻忠夫)
- 3: Terahertz Communications: Present and Future
(永妻忠夫)
- 4: Low-Noise Terahertz-Wave Detector: Fermi-Level Managed Barrier Diode
(伊藤 弘、石橋忠夫)
- 5: フォトニクス技術を利用したミリ波・テラヘルツ波応用のための半導体デバイス技術
(永妻忠夫)
- 6: テラヘルツ波検出器の実装技術:フェルミレベル制御バリアダイオード
(伊藤 弘、石橋忠夫)
- 7: フォトニクス技術を活用したテラヘルツ無線技術
(永妻 忠夫、富士田 誠之、易 利、ウェバー ジュリアン、胡間 遼、五十嵐 稜、原 一貴、可児 淳一)
- 8: Beyond 5G/6Gに向けたテラヘルツ無線技術の展望
(永妻 忠夫、富士田 誠之、易 利、ウェバー ジュリアン)

学会名

- 電子情報通信学会ED/THz合同研究会、技術研究報告
- レーザー学会学術講演会第42回年次大会
- 2022 International Symposium on Advanced Electromagnetic Engineering and Science (ISAEES)
- International Symposium on Future Trends of Terahertz Semiconductor Technologies
- 電気学会 電子デバイス研究会資料
- 電子情報通信学会総合大会
- 電子情報通信学会総合大会
- 電子情報通信学会総合大会

その他、発表4件
合計12件

5. 今後の研究開発計画

300GHz帯を使用し、RF帯域: 30GHz~40GHz、ベースバンド帯域: 15GHz~20GHz、IF帯域(ヘテロダイン方式の場合): 30GHz~40GHzにおいて、変調方式32QAM~256QAMで、シングルチャネルあたりの伝送速度を段階的に増加させ、最終的に200Gbit/sを達成する。さらに、送信電力を増やし、受信器(FMBD)を高感度化することにより、通信距離として200mを達成する。

これらを実現するための要素技術の開発として、送受信システムにおける非線形性の補償、光源の小型化と長期安定化、フォトダイオードの高出力化、同アレーによる電力合成、アンテナの高利得化、受信器の小型化(I/Q受信器)等を進める。特に、FMBDに続き、フォトダイオードを放熱性に優れたSiC基板上に形成し、さらに実用的な小型モジュールに実装する。