

令和3年度研究開発成果概要書

採択番号 00301  
研究開発課題名 テラヘルツ帯を用いた Beyond 5G 超高速大容量通信を実現する無線通信技術の研究開発  
研究開発項目 1 テラヘルツ帯増幅器一体型アレイアンテナ技術の研究開発  
副題 テラヘルツ波を用いたビーム制御通信システムの研究開発

(1) 研究開発の目的

室内空間において、ユーザーが必要とする大容量データを無線伝送する需要に向けて、従来のマイクロ波やミリ波では不可能な広い帯域を確保できる“テラヘルツ波”を用いたビーム制御通信システムの研究開発を実施する。テラヘルツ帯無線通信における電波の指向性を高めるため、化合物半導体を用いた高出力増幅器とアンテナを3次元異種集積によりアレイ化することで、300GHz帯で動作する増幅器一体型アレイアンテナを開発し、ビーム制御を実現する。

(2) 研究開発期間

令和3年度から令和6年度(4年間)

(3) 受託者

富士通株式会社<代表研究者>  
学校法人五島育英会 東京都市大学

(4) 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600百万円(令和3年度223百万円)  
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目1 テラヘルツ帯増幅器一体型アレイアンテナ技術の研究開発  
1-a) ビーム制御機能を有する増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールの研究開発(富士通)  
1-b) 300GHz帯アレイアンテナの研究開発(東京都市大学)  
1-c) 増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールを用いた伝送実験(富士通)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計(件)	当該年度(件)
特許出願	国内出願	1	1
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	3	3
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目1 テラヘルツ帯増幅器一体型アレイアンテナ技術の研究開発  
1-a) ビーム制御機能を有する増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールの研究開発  
令和5年3月(中間目標)において、1×4増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールを試作

し、角度 $\pm 10^\circ$ のビーム方向制御を確認するため、令和3年度は増幅器とアンテナの多素子集積する際の実装プロセスや放熱について課題を抽出し、モジュール設計にフィードバックを行った。

- (1) 増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュール向け回路基板（インターポーザ）の検討  
インターポーザの高周波特性と放熱の両立を図るため、低誘電率な樹脂層と熱伝導率の高い基板（高放熱基板）を積層したハイブリッドインターポーザを新規開発し、InP 配線 TEG をフリップチップ実装した構造で伝送線路損失を評価した結果、従来の低誘電率樹脂層から成るフィルムインターポーザと同等レベルまで損失を低減できることを確認した（特許出願済）。
- (2) 多素子集積技術の課題抽出  
1×4モジュールの電磁波干渉を抑制するため、金バンブで InP 配線をフリップチップ実装したハイブリッドインターポーザ構造が導波管内に配置されることを想定した電磁界シミュレーションを実施した結果、InP 基板を薄化することにより 300GHz 帯で InP 基板内の電磁波伝搬を抑制し、閉鎖空間内での電磁波干渉を抑制できることの知見を得た。また、モジュールの放熱を改善するため、熱シミュレーションを実施した結果、InP 基板裏面に貼り付けた SiC のヒートスプレッド効果により発熱が低減されることの知見を得た。さらに、モジュールの構造的歪を検証するため、構造シミュレーションを実施した結果、熱伝達により暖められたハイブリッドインターポーザの樹脂層の変位量が最も大きく、InP 基板裏面に貼り付けた SiC のヒートスプレッド効果により変位量が軽減されることの知見を得た。
- (3) 1×4 増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールの設計  
(1)、(2)の知見を基に、1×4 増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールの基本設計を行った。

#### 1-b) 300GHz 帯アレイアンテナの研究開発

令和5年3月（中間目標）において、1×4 増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュール（ビームスキャン角度 $\pm 10^\circ$ において利得 9dBi）を実現するために、令和3年度は以下の(1)～(5)の項目を検討した。

- (1) 材料評価手法および測定  
一般的に用いられている商用の高周波基板材料 10 種類およびシリコン基板のテラヘルツ帯におけるデータはあまり知られておらず、実測で確認する必要がある。NICT 電磁波研究所のテラヘルツ時間領域分光システム(TDS)で 50 $\mu\text{m}$ -300 $\mu\text{m}$  厚の材料の複素誘電率測定を行った。誘電体材料では一般的にテラヘルツ帯になると誘電正接が大きくなる傾向が見られた。また、100GHz-500GHz の間にローレンツモデル型の分散特性が見られる材料が多く、300GHz 帯で使用するためには材料特性を実測で確認しなければならないことがわかった。シリコン基板は不純物の量に応じて品質は様々であるが、高抵抗のシリコン基板はテラヘルツ帯でも低損失な特性を示すことがわかった。
- (2) 基板材料選定  
(1)の材料評価で得られた知見から材料候補の選定を行った。1-a)の増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールの開発とも関係して難しいのは、電波特性のみでなく、放熱特性・熱膨張率および試作可能性も考慮しなければならないことである。Si 基板を用いると損失は小さくできる可能性があるが、比誘電率が 12 と大きく、アンテナの設計は困難である。そこで、1-a)の放熱特性も考慮し、比誘電率が 6.5 とより小さな SiC を用いた検討を行うこととした。
- (3) 接続構造の検討と課題抽出  
PA（パワーアンプ）からアンテナまで低損失かつ低歪で伝送する必要がある。フリップチップ接続部、マイクロストリップ線路、SIW(Substrate Integrated Waveguide)、アンテナへと接続する構造について、それぞれのブロックの電磁界解析を行い、300GHz での特性評価を行った。フリップチップ接続部は現状の加工では 300GHz における良好な特性を得ることが難しいことがわかったため、ファンアウトウェハレベル・パッケージング(FOWLP)による PA とアンテナの接続を検討した。

- (4) アンテナ設計の基礎検討  
アレーファクタと導波管開口アンテナのシミュレーションによる検討から、ビームスキャン角度 $\pm 10^\circ$ において利得 9dBi を確保できることを確認した。アンテナ素子としては SiC 基板による SW 導波管開口アンテナを検討した。幅  $300\mu\text{m}$ 、高さ  $150\mu\text{m}$  の SiC 基板導波管開口を用いて 300GHz において -15dB で整合が取れることを確認した。パッケージ樹脂の影響などは今後検討を行う。また、広帯域化のためには比誘電率の小さな材料を用いる必要があるため、金属を用いた中空導波管開口の検討も並行して行う。
- (5) スケールモデル試作確認  
15GHz 帯でのスケールモデルを用いて、SW の伝送特性を評価した。MSL-SW 変換器の設計も行い、300GHz で試作するための基礎データが得られた。

1-c) 増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールを用いた伝送実験

令和 5 年 3 月（中間目標）までに、増幅器一体型アレイアンテナ送信モジュールを用いた伝送実験の試験系を構築するため、試験系を検討し部材手配を進めた。

(8) 今後の研究開発計画

令和 3 年度に実施した各項目の要素技術検討や課題抽出の結果を元に、化合物半導体を用いた高出力増幅器とアンテナを 2 次元で集積しアレイ化することで、300GHz 帯で動作する増幅器一体型アレイアンテナを実現し、令和 5 年 3 月の中間目標である角度 $\pm 10^\circ$  のビーム方向制御を実証し、最終目標達成までの目途を立てる。