

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「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」
研究課題「異種機能コデザインによるテラヘルツ帯
ビデオイメージングデバイスの開発」

研究終了報告書

研究期間 2014年10月～2020年3月

研究代表者：浅野種正
(国立学校法人九州大学大学院システ
ム情報科学研究所、特任教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

光と電波の中間の性質を持つテラヘルツ波は、物質の分子間力によって変化する吸収をもつこと、衣服等の絶縁体を透過するが金属等の絶縁体には吸収されること、エネルギーが小さいので人体に対して安全に利用しやすいことなどを特長とする電磁波である。この性質を利用して画像化する技術があれば、セキュリティ、化学工業、創薬の分野で Society 5.0 スマート社会の構築を推し進める様々な新サービス、新産業を創出できると期待されている。

そのため、テラヘルツ波で実時間の映像を撮影できるイメージセンサーの開発が現在も欧米の研究機関を中心に行われている。しかし、未だ実用的な性能をもつものは実現できていない。テラヘルツ波を発生する半導体素子は未だ微弱な出力でしか放射できず、そのため、イメージセンサーに極めて高い感度の検知能力が要求される。

本研究では、集積化可能なテラヘルツ波受信アンテナ、半導体検波器、読み出し集積回路、カメラモジュールの各要素で徹底的に高感度化技術を開発し、1THz 帯のテラヘルツ波に対し、従来比 100 倍以上の高感度化を図り、ビデオイメージングが可能なデバイスを開発することを目標とした。それぞれの要素に特長あるシーズ技術をもつ 4 機関でチームを構成した。

九州大学グループは、独自のアンテナ技術を本研究で発展させ、1THz 帯で従来型平面アンテナの約 6 倍の一方感受性をもつ集積化平面形アンテナを開発した。また、九州大学は各機関における開発品のテラヘルツ波性能試験の拠点としての役割も担った。

産業技術総合研究所グループは、検波器の高性能化に取り組んだ。半導体薄膜層状構造を半導体基板からガラス基板へ移載する独自技術を利用し、トランジスタ内部の電子が通常のシリコン半導体トランジスタよりも 5 倍以上動きやすい状態を作り出すと共に、ガラス基板を用いることでテラヘルツ波の損失を抑え、1THz 帯において検波器の感度を従来の集積化検波器に比べ 20 倍以上向上することに成功した。また、九州大学が開発したアンテナと高性能検波器を集積化したチップを開発した。

東京大学グループは、集積回路設計の豊富な経験を活かし、検波器からの微弱な検波信号を低雑音で読み出す集積回路を開発することに取り組んだ。低雑音増幅器、フィルター、同期検波、アナログ・デジタル変換の各段に低雑音化技術を盛り込んだ回路、ならびに、検波器のバラツキ補正を行うためのデジタル・アナログ変換を各絵素(ピクセル)に内蔵した読み出し集積回路を開発した。

アイアールスペックグループは、近赤外カメラの開発と事業化で培った技術と経験を活かし、イメージングデバイスからカメラモジュールまでの摺合わせ設計を行い、テラヘルツカメラの開発に取り組んだ。読み出し集積回路を制御して画像化するシステムを基板実装し、テラヘルツ波用レンズを搭載したカメラケーシングを試作し、プロトタイプ実装の環境を整えた。

イメージングデバイスの集積化・実装には全 4 機関が協力して取り組んだ。九州大学・産総研グループ、東京大学グループがそれぞれ作製した検波器チップ、読み出し集積回路チップを、九州大学グループがもつ三次元集積化技術を利用しながらアイアールスペックグループが実装を進めた。これにより、実用的な感度をもつイメージセンサーピクセル感度を実現した。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1.

概要:1THz 波を室温動作で約 $1\text{pW}/\text{Hz}^{1/2}$ 以下の高い感度をもつイメージセンサーピクセルをアレイ化した集積回路を実現できることを示した。高感度アンテナ、低損失基板、高性能トランジスタ、低雑音読み出し回路を統合開発した成果であり、当該技術を先導するものである。今後の実用化開発に向けた基礎を築いた。

2.

概要:1THz という超高周波帯におけるトランジスタの検波作用の回路モデルを考案した。これにより、トランジスタの遮断周波数を超える周波数域の検波特性を精度良く予測できるようにだけでなく、アンテナ～検波器～読み出し回路まで切れ目のない設計環境を構築する基礎を築けた。イメージングだけでなく通信用のデバイス開発、設計にも応用可能で、波及が期待できる。

3.

概要:1THz で高い利得をもち、集積化が可能な平面形アンテナを開発した。一般的なアンテナの約 5 倍以上の利得をもつこのアンテナは、アンテナから回路面への輻射を小さくできるため、回路動作に影響を与えることが小さく、オンチップアンテナとして優れた適性をもつ。アレライ化し位相を制御することでビームステアリングも可能であることを確認しており、Beyond 5G の通信用途としての高い利用価値も見込まれる。

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

1.

概要:ナノエレクトロニクスを発展させることでテラヘルツ波利用という新規分野に半導体デバイスを展開することが可能であることを示した。

2.

概要:テラヘルツの実時間イメージングはセキュリティ、化学工業、創薬、インフラ保全など、幅広い分野で新しいサービスを提供できる波及性の高い技術である。今回、1THz域でのイメージングの可能性を示したことで、特に創薬や化学工業のスマート化が実現できると期待できる。

3.

概要:異種機能の集積化が新しい機能を創出することの例示になった。IoT 時代に向け様々な価値創造デバイスを開発する機運を高めることにつながる成果である。

< 代表的な論文 >

1.

E. Kume, H. Ishii, Hi. Hattori, W.-H. Chang, Y. Mukai, M. Ogura, H. Kanaya, T. Asano, and T. Maeda, "1.0 THz detection by InAs quantum-well MOSHEMT using GSG THz probe," 2018 IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing Conference Proceedings of Technical Papers, pp. 289-291 (2018).

2.

H. Kojima, D. Kido, H. Kanaya, H. Ishii, T. Maeda, M. Ogura, and T. Asano, "Analysis of square-law detector for high-sensitive detection of terahertz waves", J. Appl. Phys. 125, 174506 (2019).

3.

Y. Miyaji, H. Kanaya, and T. Asano, "Design and Characterization of One-Sided Directional Slot Antenna for 1 THz Waves", Proc, 2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, pp. 809 - 810 (2018).

§ 2 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

① 九大グループ

研究代表者: 浅野 種正 (九州大学大学院システム情報科学研究院 特任教授)

研究項目

・アレイ型テラヘルツ検知デバイスの研究

② 産総研グループ

主たる共同研究者: 前田 辰郎 (産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門 研究主幹)

研究項目

・テラヘルツ検知用半導体ナノ素材・素子の研究

③ 東大グループ

主たる共同研究者: 池田 誠 (東京大学大学院工学研究科 教授)

研究項目

・テラヘルツイメージング集積回路の研究

④ IR スペックグループ

主たる共同研究者: 小倉 睦郎 (アイアールスペック株式会社 技術部長)

研究項目

・テラヘルツカメラシステムの開発

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

特になし