

ACCEL

研究開発課題

「半導体を基軸としたテラヘルツ光科学と応用展開」

研究開発終了報告書

研究代表者 氏名 田中 耕一郎

プログラムマネージャー 氏名 深澤 亮一

1. 研究開発成果

1-1. 実施概要

テラヘルツ光は、ダンボール、布、皮製品を簡単に透過することから危険物検知や荷物の非破壊検査に適している。また、水分に強く吸収される反面、ガソリンなどの可燃物にはあまり吸収されないことから、可燃物などの検査にも使える。このようなことから安全・安心に資する次世代のイメージング技術として利用されることが期待される。半導体を用いて構築することにより、サイズ、価格の上でも競争力のあるシステムとなることから、セキュリティ分野だけでなく、バイオ分野や製品検査など、今後さまざまな応用への展開が期待できる。そのためには、従来のテラヘルツ技術を社会実装する上で抱えていた課題（センシングスピード、コスト、サイズ、ロバストネス）の解決が必要である。

この研究開発の目的は、テラヘルツ技術を社会実装する上で抱えていた課題を解決するとともに、ベンチャーや企業などの産業界が実用化開発として継承できる技術を確認することである。この研究開発の成果により、新たな社会的・経済的な価値を生み出し、安全・安心な社会へと変革を起こすことができる。研究開発体制については、光源・検出デバイス技術を持つ東京工業大学、高感度検出デバイス技術を持つ北里大学、テラヘルツシステム技術を持つ企業、産業用システム実装技術を持つ企業に対し、テラヘルツ半導体基幹技術を有する京都大学（研究代表者）グループ、(国立研究開発法人) 理化学研究所・テラヘルツ光研究グループが包括的に参画することで社会実装へ向けた技術の研究開発を行ってきた。加えて半導体デバイスメーカー、システムメーカー、ユーザーなどを巻き込むことで、革新的な技術を実用化開発に継承させる取り組みを実施してきた。すでに成果の一部は企業で実用化開発を進めている。また、社会実装に向けて電波利用の国際規格に関する提案や知財出願を進めている。研究開発は順調に進捗し、テラヘルツ半導体光源、検出器、テラヘルツレーダーに関する技術課題を解決するとともにマイルストーンをすべて達成した。また、期待以上の成果も得られた。これらの成果は学術的なインパクトがあり、国際的にも水準が高いといえる。

テラヘルツ半導体光源の高度化については、①共鳴トンネルダイオード (RTD) 光源の並列化により高出力化を達成した。②RTD 光源の周波数制御技術に関しては目標を上回る周波数可変幅が実証できた。③RTD 光源の高機能化としてコヒーレント・非コヒーレント制御が可能なることを実証した。④RTD 光源の評価と改良を進めており、単体高出力構造の動作実証、簡易構造考案による作製時間の大幅な短縮、高歩留まりを達成した。また、RTD 光源の周波数制御技術を確認した。テラヘルツ半導体のシミュレーターの開発が進捗した。⑤社会実装に向け小型化した RTD 光源モジュールを開発した。

テラヘルツ半導体検出器の高度化については、①RTD 光源の検出器としての動作確認を実証、高感度化を達成した。②RTD を光源や検出器に用いた位相検出技術を確認した。③ヘテロバリアダイオード (HBD) の高感度化を達成、並列化によるイメージング用リニアセンサーを開発しイメージングシステムに搭載して評価を進めた。④HBD の位相検出方式の開発においてはミキシング動作を確認、検出器モジュールを開発した。改良と評価を進め超高感度化を達成した。

半導体テラヘルツレーダーに向けての基盤技術開発については、システム技術を確認するためにボデイスキャナーへの展開を目指してプロトタイプを構築し、歩行する人のイメージングを行い隠れた所持物の検知に成功した。また、非破壊検査への展開を目指してイメージング用リニアセンサーを搭載したイメージングシステムのプロトタイプを構築し、さまざまな対象物の産業用途に適した高速イメージングに成功した。

社会実装への課題

これまでのテラヘルツ技術は社会実装するうえで技術的課題あり

課題解決

半導体をベースとしたテラヘルツ技術の発展が必要

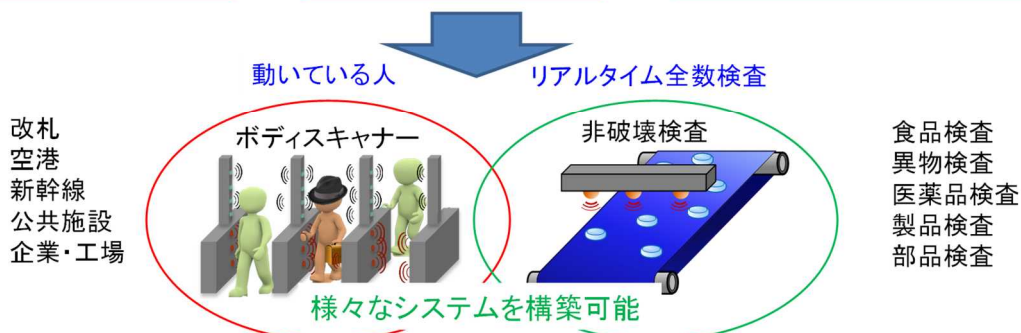
プロジェクトが目指すもの

テラヘルツ半導体素子の飛躍的な性能向上
高速・テラヘルツ透視イメージングシステムの構築

★光源の高度化

★検出器の高度化

★システムの基盤技術



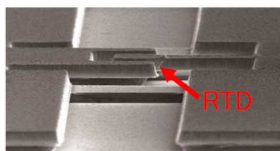
安全・安心な社会の実現

★光源の高度化

- 高強度
- 周波数制御
- 多素子化(並列)



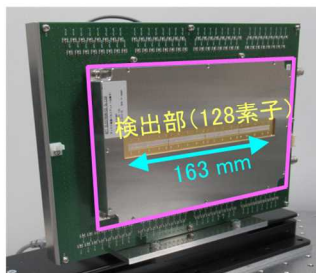
・共鳴トンネルダイオード (RTD) を搭載した光源モジュールを開発



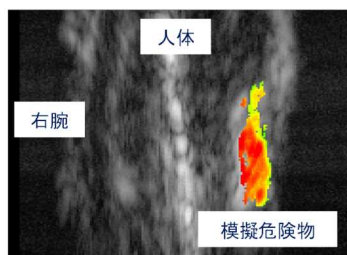
・作製プロセスが簡易な構造を開発

★検出器の高度化

- 高感度
- 検波技術
- 多素子化(並列)



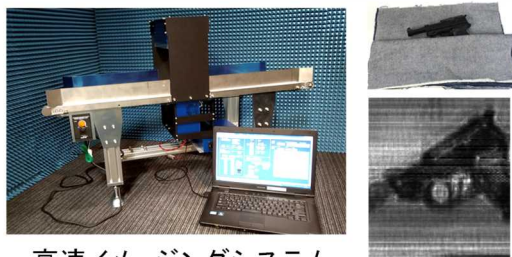
・ヘテロバリアダイオード (HBD) 128素子を集積した1次元検出器アレイユニットを開発



・ボディスキナーへの展開

★システムの基盤技術

- 高速2次元イメージ
- レーダー(3次元イメージ)



・高速イメージングシステムを構築(2次元イメージ) 布下の玩具銃



・レーダー方式イメージングシステムの構築(3次元イメージ)

研究開発の主な成果

2. 社会実装／実用化に向けた取組

2-1. 実施概要

テラヘルツ光は、安全・安心に資する次世代のイメージング技術として利用されることが期待される。半導体を用いて構築することにより、サイズ、価格の上でも競争力のあるシステムとなることから、セキュリティ分野だけでなく、バイオ分野や製品検査など、今後さまざまな応用への展開が期待できる。期待が大きい反面、社会実装するためには従来のテラヘルツ技術が抱えていた課題（センシングスピード、コスト、サイズ、ロバストネス）の解決が必要であった。この研究開発の目的は、テラヘルツ技術を社会実装する上で抱えていた課題を解決するとともに、ベンチャーや企業などの産業界が実用化開発として継承できる技術を確立することである。この研究開発の成果により、新たな社会的・経済的な価値を生み出し、安全・安心な社会へと変革を起こすことができる。

社会実装/実用化に向けた取り組みについては研究開発体制づくりから始めた。研究開発体制については、光源・検出デバイス技術を持つ東京工業大学、高感度検出デバイス技術を持つ北里大学、テラヘルツシステム技術を持つ企業、産業用システム実装技術を持つ企業に対し、テラヘルツ半導体基幹技術を有する京都大学（研究代表者）グループ、（国立研究開発法人）理化学研究所・テラヘルツ光研究グループが包括的に参画することで社会実装へ向けた技術の研究開発を行ってきた。

また、研究開発の初期から半導体デバイスメーカー、システムメーカー、ユーザーなどを巻き込むことで、革新的な技術を実用化開発に継承させる取り組みを実施してきた。すでに成果の一部は企業で実用化開発を進めている。技術開発のみならず、社会実装に向けた電波利用に関する法務的な整備については、関連機関を巻き込んで国際規格に関する提案など、先導的な活動を継続してきた。また、国内外のテラヘルツ技術動向を調査し、研究成果を知財化できるよう推進してきた。次世代イメージング技術の具体例として、ボディスキャナーや非破壊検査というシステムを構築してきた。ボディスキャナーに関しては、それに関する市場、システム要件に関するアドバイザーとして、有力な企業を巻き込み定期的に議論の場を設け、システム要件の検証を実施してきた。さらに、社会へのアピールのため、2020年オリンピックの年にボディスキャナーのデモンストレーションを行う計画が予定通り実施できたことは大きな成果である。この成果により関連企業へのさらなる展開を図っている。非破壊検査については、すでにプロジェクトに参画している企業が検討を進めている。ダンボール、布、皮製品のなかにある危険物検知や荷物の非破壊検査に焦点をあて産業用途に適した高速イメージングを実現した。これらの成果を、セキュリティや産業用検査関連企業にアピールすることで実用化開発企業の発掘に取り組んできた。一方、当初からテラヘルツ半導体メーカーを巻き込み、テラヘルツイメージングシステムに搭載する光源や検出器に組み込むための半導体デバイスの供給に関して協力を得た。また、北里大の考案した仕様のテラヘルツ半導体検出器を作製するためのプロセスにおいて半導体デバイスメーカーの協力を得た。この成果は実用化開発に移行している。このプロジェクトでは、半導体デバイスメーカーやシステムメーカーも巻き込みながら進めており、社会実装に向けて進捗している。また、半導体デバイス、関連部材などの供給を受けてシステムを構築し社会実装するまでの流れを作る企業等のサプライチェーンの典型例を構築できた。

社会実装・実用化に向けた取組

半導体デバイスメーカー、システムメーカー、ユーザーなどを巻き込み、ACCEL成果を実用化開発に継承

社会実装に向けての主な活動

- ・半導体デバイスメーカーの巻き込み
- ・実用化開発への技術移転
- ・実用化開発に移行
- ・ベンチャー起業検討
(システムメーカーにデバイス供給)

- ・実用化開発システムメーカーとシステム要件の検討と技術移転
- ・研究開発にフィードバック

- ・「電波法」整備への活動
- ・国の関連機関と協議
- ・国際規格の議題提案

- ・知財活動:光源高出力化、その他の発明も出ており、出願を推進