


波動的性の顕在化による電子デバイスの超越動作

	研究代表者	東京工業大学・工学院・准教授 鈴木 左文 (すずき さふみ)	研究者番号：40550471
	研究課題情報	課題番号：24H00031 キーワード：テラヘルツ、共鳴トンネルダイオード、メタマテリアル、フォトニクス	研究期間：2024年度～2028年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

● 研究の全体像

0.1から10テラヘルツ (THz、テラは10の12乗) のテラヘルツ周波数帯は電波と光の間の周波数帯であるため、低い周波数から電子デバイスが、高い周波数から光デバイスが研究されてきた。しかしながら、両者の動作極限の領域であり、高強度信号の生成はまだ困難である。ここで、電子デバイスである共鳴トンネルダイオード (Resonant Tunneling Diode: RTD) はマイナスの抵抗によって信号発生が可能であり、光デバイスの動作領域に足を踏みこむ2THzの発振を達成し、さらに、光の発生や制御などを行うフォトニックデバイスに似た波動的な性質が見えてきている。

そこで本研究では、RTDの内在する波動的な性質を解明し、デバイスを平面上に並べてアレイ化した電磁波との相互作用を高める独自のメタマテリアル (電磁波を制御する人工物質) などにより波動的性質を制御・顕在化させることで、これまでの電子デバイス動作を超越する動作を引き出す。これにより、電子デバイスとして光領域に踏み込む3THz以上の電磁波の発生、超高速の変調動作 (強度変化)、超高感度の受信などの新たなデバイス動作を実現し、これらの特性を生かしたインターコネクタやドットプロジェクトなどの新規テラヘルツ応用開拓に向けた基盤技術の研究を行う。

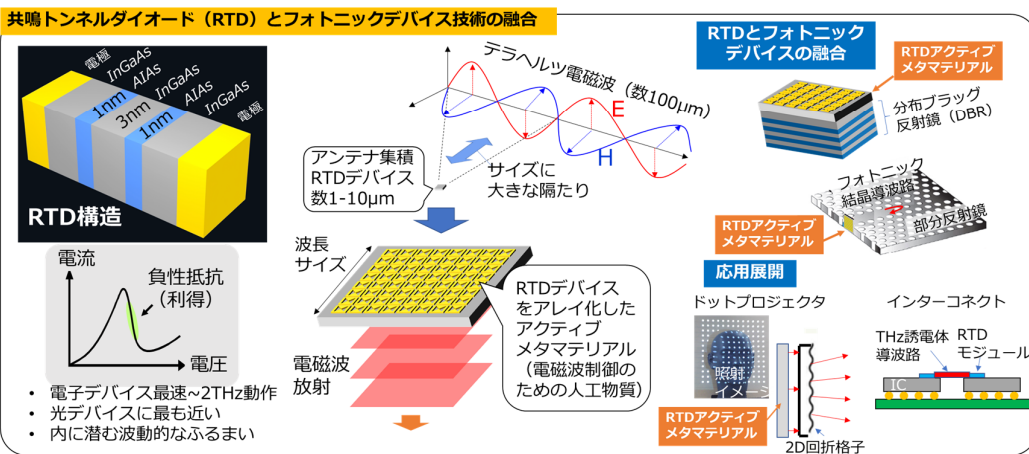
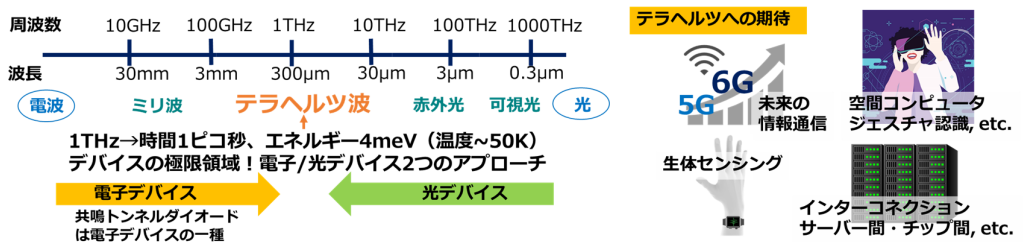


図1 研究のイメージ図

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

● RTDアクティブメタマテリアルの動作制御

RTDとテラヘルツ電磁波の波長のサイズは大きく異なり、フォトニックデバイスのサイズも波長程度になるため、そのままではRTDとフォトニックデバイスの相互に与える作用は小さい。そのため、図1の下段中央に示すように、RTDを平面的に多数並べたアレイ構造を構成しアクティブ (電圧などで特性変化が可能) なメタマテリアルにすることで、相互作用を強くさせ、フォトニックデバイスとの結合を容易にさせることを目指す。

● フォトニックデバイスとの結合などによる新たな特性の発現

開発したRTDメタマテリアルを様々なフォトニックデバイスと結合させ新たな特性の発現を目指す。分布ブラッグ反射器 (DBR) は、波 (ここでは電磁波) の定在波を利用して特定の周波数のみ反射するフォトニックデバイスであり、低損失な共振器として機能する。これをRTDメタマテリアルと組み合わせ、RTDの持つ潜在的な光デバイス的な信号増幅機構を発現させ、これまでにどの電子デバイスでも到達していない3THz以上の光の周波数領域の生成を目指す (図2)。

フォトニック結晶は周期的な構造により電磁波を閉じ込めることができる低損失なテラヘルツの導波路であり、フォトニック結晶構造を工夫することにより、様々な機能を実現できる。RTDメタマテリアルとフォトニック結晶導波路を結合した場合、導波路に任意の反射器を設置することでRTDへのフィードバックを高度に制御することができ、これにより、RTDへのフィードバックによって現れると予測される極限的な高速直接変調特性 (テラヘルツ出力を外部電気信号により高速に変化させる) の達成を目指す。

RTDにテラヘルツ波を照射した場合、検波信号が増幅され高い感度が得られる増幅検波現象が見出されている。この増幅検波は電子デバイスとフォトニックデバイスのそれぞれの従来モデルで説明できるのか、それとも別の新規原理なのか解明を目指す。

● テラヘルツインターコネクタやドットプロジェクトなどの応用展開

数10cm前後のごく近距離で半導体チップなどの間を電気配線の代わりに、誘電体の中を伝搬するテラヘルツ波でつなぐテラヘルツインターコネクタは、大容量で低消費電力の新しい技術として注目されている (図3)。RTDデバイスは発振と受信が可能のため、モジュール化したRTDデバイスをテラヘルツ送信器および受信器としてテラヘルツ誘電体導波路で接続しデータ伝送を行い、テラヘルツインターコネクタのデモンストレーションを行う。

スマートフォンの顔認証などに利用されている赤外線ドットプロジェクトをテラヘルツで実現すれば、テラヘルツの透過性を利用してマスクや服の下の3次元形状を簡単に測定できる可能性がある。そのため、RTDメタマテリアルと2次元回折格子を組み合わせたテラヘルツドットプロジェクトを実現し形状測定に挑戦する。

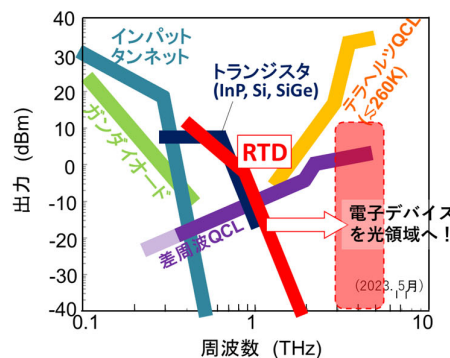


図2 テラヘルツ帯の信号源のまとめ。RTDは光デバイスである量子カスケードレーザーQCLの動作域に達しており、さらに本研究で飛躍的な周波数向上が期待できる。

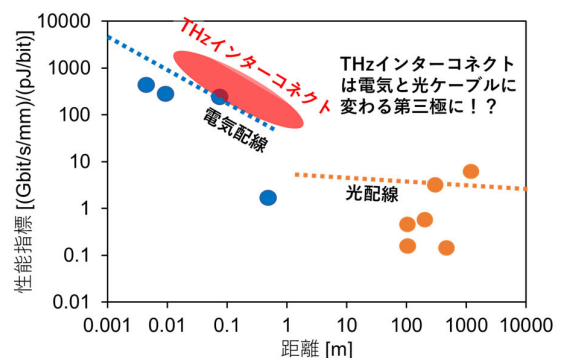


図3 テラヘルツインターコネクタの想定距離とその期待性能。性能指標は単位導波路幅あたりの伝送速度 (Gbit/s : ギガビット毎秒) を1ビット伝送あたりの消費電力 (pJ/bit) で割ったもの。