

## テラヘルツ波による大容量無線通信実現の為の デバイス・システムの開拓

Development of devices and systems toward realization of  
high-capacity wireless communications by terahertz waves

浅田 雅洋 (ASADA MASAHIRO)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授



### 研究の概要

0.1~数テラヘルツ(THz)の周波数帯は短距離大容量無線通信への応用が期待されている。このためのTHz無線伝送システムの実現には、高性能の発振デバイスや変調方式などの開発が不可欠となる。本研究は、共鳴トンネルダイオードTHz発振器の高周波化・高出力化、発振器の直接変調や外部変調デバイスによる変調特性の把握、変調駆動用トランジスタの高性能化と、これらを用いたTHz波による信号伝送を行い、大容量無線通信の可能性を明らかにする。

研究分野：エレクトロニクス

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子デバイス・電子機器

キーワード：電子デバイス・集積回路、テラヘルツデバイス、大容量無線通信

### 1. 研究開始当初の背景

光と電波の中間に位置するテラヘル(THz)周波数帯は、分析やイメージングなど非常に幅広い応用の可能性があり、通信においても、THz帯の超広帯域性を利用すれば大容量伝送が可能のため、開拓が強く望まれてきた。1THz程度以下の周波数では大気減衰の窓を使った数十~数百mの距離における伝送速度数十Gbps以上の通信、また、1THz以上ではごく短距離の局所大容量通信が期待できる。しかしながら、THz帯を通信に用いる研究は、要素技術である高性能の発振・変調デバイスや変調方式の開発も含め、ほとんどなされていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、大容量THz無線通信の実現を目指し、その重要な要素となるデバイス・システムを開拓するため、(1)THz発振デバイスの高出力化、高周波化、指向性制御、(2)信号伝送のための変調方式の確立と変調デバイスの作製、および(3)これらによるTHz集積デバイス・システムの形成と信号伝送を行い、大容量無線通信の可能性を明らかにする。

### 3. 研究の方法

発振デバイスにおいては、共鳴トンネルダイオード(RTD)とスロットアンテナを用いた構造(図1)により、高周波化・高出力化を目指す。高周波化は電子のトンネル時間とコレクタ走行時間を短縮できる層構造を導入して

行う。高出力化は、まず単体発振素子でオフセットやアンテナ形状最適化によるインピーダンス整合を行い、さらにアレイを構成して行う。また、素子間の相互注入同期による位相制御を用いた電氣的ビームステアリングなど種々の指向性制御を検討し、その理論解析および実験を行う。

THz波の変調については、RTDのバイアス直接変調や光信号照射による強度変調に対して高速変調が可能なデバイス及び回路構造を明らかにする。また、外部変調デバイスを作製し、その特性を把握する。変調駆動用のトランジスタについては、十分な駆動能力を有しかつ集積に適した構造の作製を行い、高周波特性を評価する。

これらのデバイスによる高速THz無線伝送を行うとともに、集積デバイス・システムのための伝送路構造や作製プロセスを確立する。

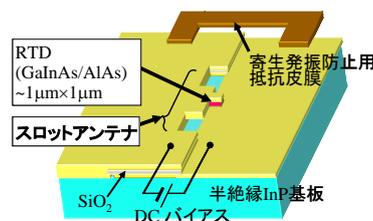


図1 RTDと微細アンテナを集積したTHz発振素子

#### 4. これまでの成果

RTD 発振器の高周波化について、コレクタ走行時間を短縮するグレーデッドエミッタ構造により、室温電子デバイスでは初めての 1THz を超える 1.04THz の発振を達成し、また、トンネル時間を短縮する狭井戸構造では電子デバイスで最高周波数となる 1.3THz の基本波発振が得られた。トンネルと走行の時間を短縮する構造の同時導入によりさらなる高周波化が期待できる。

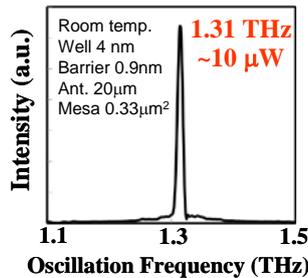


図 1 狭井戸 RTD による 1.3THz 室温基本波発振の達成。

高出力化については、オフセット構造により単体素子で 550GHz において 400 $\mu$ W、2 素子アレイでは 620GHz において 600 $\mu$ W と、いずれもこれらの周波数帯の半導体デバイスでは最高の出力が得られた。またアンテナ形状最適化により単体でも 1mW 以上の出力が可能なることを理論的に示した。

RTD の直接強度変調による 560GHz 無線伝送を行い、3Gbps で訂正可能なエラーレート  $10^{-3}$  以下を得た。伝送速度は RTD の外部回路で制限されており、高速伝送可能な外部回路の構造提案と最適設計を行った。

変調器駆動用高速トランジスタでは、集積化に適した InGaAs MOSFET について、エピタキシャル層によるソースの高濃度化と 50nm までのチャネル縮小によりドレイン電圧 1V 時に 3A/mm という MOSFET での世界最高の電流値を得た。

#### 5. 今後の計画

引き続き、RTD 発振素子について、電子のトンネル時間とコレクタ走行時間の短縮による高周波化、および、素子構造最適化とアレイによる高出力化を進める。指向性制御については、電気的な位相制御や素子間スイッチングについて特性把握と比較検討を行う。

RTD の直接変調について、RTD 周辺の外部集積回路に対して変調周波数上昇可能な構造を導入して高周波変調を行う。得られた高周波変調特性をもとに、無線伝送実験を行い、数十 Gbps の高速伝送を目指す。光信号を THz 波に転写する外部変調器として、プラズモニク導波路により THz 波を微小領域に閉じ込める構造により、高速・高効率の信号変換

を実証する。

駆動用トランジスタについては、薄膜化した絶縁膜と T 型ゲートを持つ高速動作が可能な InGaAs MOSFET を作製し、トランジスタの遮断周波数などの評価を行う。

これらによる集積デバイス・システムの構造を電磁界シミュレーションにより決定し、作製プロセスを検討する。

#### 6. これまでの発表論文等

- [1] M. Shiraishi, H. Shibayama, K. Ishigaki, S. Suzuki, M. Asada, H. Sugiyama, and H. Yokoyama, "High Output Power ( $\sim 400\mu$ W) Oscillators at around 550GHz Using Resonant Tunneling Diodes with Graded Emitter and Thin Barriers", Appl. Phys. Express, vol.4, 064101 (1-3), 2011.
- [2] M. Asada and S. Suzuki, "Terahertz Oscillators Using Electron Devices – an Approach with Resonant Tunneling Diodes" [Invited Review], IEICE Electron. Express, vol.8, no.14, pp.1110-1126, 2011.
- [3] S. Suzuki, M. Asada, A. Teranishi, H. Sugiyama, and H. Yokoyama, "Fundamental oscillation of resonant tunneling diodes above 1 THz at room temperature," Appl. Phys. Lett., vol. 97, no. 24, pp. 242102 (1-3), 2010.
- [4] Y. Yonai, T. Kanazawa, S. Ikeda, and Y. Miyamoto, "High Drain Current ( $>2$ A/mm) InGaAs Channel MOSFET at  $V_D = 0.5$  V with Shrinkage of Channel Length by InP Anisotropic Etching," Int. Electron Device Meeting (IEDM 2011), 13.3, Washington DC, Dec. 6, 2011.
- [5] M. Shirao, Y. Numajiri, R. Yokoyama, N. Nishiyama, M. Asada, and S. Arai, "Preliminary Experiment for Direct Media Conversion to Sub-Terahertz Wave Signal from 1.55- $\mu$ m Optical Signal Using Photon-generated Free Carriers," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 48, No. 9, pp. 090203(1-3), 2009.

ホームページ等

[http://www.pe.titech.ac.jp/AsadaLab/Asada\\_Lab.html](http://www.pe.titech.ac.jp/AsadaLab/Asada_Lab.html)

<http://www.pe.titech.ac.jp/Furuya-MiyamotoLab/index.htm>

<http://www.pe.titech.ac.jp/AraiLab/index.html>