

## サブテラヘルツ帯 UWB 通信技術に関する研究 (041206002)

Studies on ultra wideband technology using sub-THz frequency range

### 研究代表者

前澤宏一 名古屋大学大学院工学研究科 (H18 年 10 月より富山大学大学院理工学研究部)

Koichi Maezawa Graduate School of Engineering, Nagoya University (- 2006.9)

Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama (2006.10)

### 研究分担者

藤巻朗† 安藤浩哉††

名古屋大学大学院工学研究科† 豊田工業高等専門学校††

†Graduate School of Engineering, Nagoya University

††Toyota National College of Technology

研究期間 平成 16 年度～平成 18 年度

### 本研究開発の概要

本研究は 100GHz を超える超高周波領域を用いた超広帯域(UWB)無線技術の基盤を構築しようというものである。この周波数領域は、減衰が大きく、かつ干渉する他の無線信号がほとんど存在しないという特徴がある。そのため、シンプルな通信方式を用いて近距離・高速なデータ通信が可能と考えられる。しかし、この周波数領域を利用することは通常のデバイス技術では困難である。ここでは、新しいデバイスを含めたアプローチにより、これに挑戦する。具体的にはテラヘルツに達する高速性を持つ超高周波量子デバイスである共鳴トンネル素子(RTD)と、超高速性と同時に超高感度性を有する超伝導単一磁束量子素子(SFQ)を軸に研究を進める。本研究期間における最終的研究開発目標は、100GHz 帯パルス送信機、および受信機の開発と、実際にそれらを用いた伝送システムを評価することである。

### Abstract

The purpose of this work is to establish technological basis for the ultra wideband system using frequency range of higher than 100GHz. This frequency range has a unique characteristics, high attenuation rate and virtually no radio signal interfering them. Consequently, one can transmit ultrahigh data rate signal using this frequency range. However, it is difficult to develop this frequency range using conventional devices. In this work, we challenge this task based on resonant tunneling diodes and superconducting single flux quantum devices.

### 1. まえがき

最近、近距離無線通信、超低電力通信、超高分解能レーダなどへの応用が可能な超広帯域(UWB)無線技術が注目を集めている。UWB はパルス伝送を基本とすることにより、複雑な RF 回路部品が削減でき、簡単な構成で高速なデータ通信が行えるものとして期待されている。現在、UWB は数 GHz から 10 GHz の帯域を用いる方向でその導入が検討されているが、この周波数帯域では既存の無線システムとの干渉が問題となる。一方、100GHz を超える超高周波領域を用いれば、減衰が大きく、かつ干渉する他の無線信号がほとんど存在しないため、impulse radio 方式のような単純な通信方式を用いて、高速なデータ通信が可能と考えられる。しかし、この周波数領域を利用することは通常のデバイス技術では困難である。ここでは、新しいデバイスを含めたアプローチにより、この超高周波領域の開拓に挑戦した。具体的にはテラヘルツに達する高速性を持つ超高周波量子デバイスである共鳴トンネル素子(RTD)と、超高速性と同時に超高感度性を有する超伝導単一磁束量子素子(SFQ)を軸に研究を進めた。

### 2. 研究内容及び成果

#### 2.1 送信システム

送信システムとしては共鳴トンネル素子の高速性を生かしたパルスパターン生成器を中心に研究を進めた。ここで考案した方法は、パタン生成の自由度は低いが、比較的低いビットレート(~10Gbps)の信号を外部クロックなしに 100GHz パルスパタンに変換できるという特徴がある。具体的にはデータ信号を RTD により波形整形し、フィル

タ処理によりパルスを生成するというものである。本構成は高周波のクロックが必要ないため、送信システムの大幅な低コスト化が期待できる。

これを実際に設計・試作し、パルス幅 10ps クラスのパルス生成を実証した。図 1 に作製した回路を、図 2 にその典型的な出力波形を示す。半値幅 10ps の極短パルスが非常に簡単な回路で得られている。また、本回路の特徴として、入力信号の立ち上がり、立下りエッジに対応して正と負の同形状のパルスが得られることが挙げられる。実験においても非常に対称性の良い正負のパルスが得られることが確認できた。なお、本実験で用いたサンプリングヘッドは帯域 100GHz であり、サンプリングオシロスコープのジッターは名目値で 600fs である。下記波形はさらにケーブル、プローブによる減衰(高周波ほど減衰が大きく、100GHz で約 6dB) の効果も含んでいる。したがって、実際のパルス幅は 10ps よりもさらに狭いと考えられる。

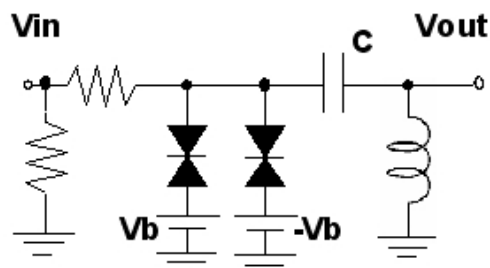


図 1 共鳴トンネルパルス生成回路

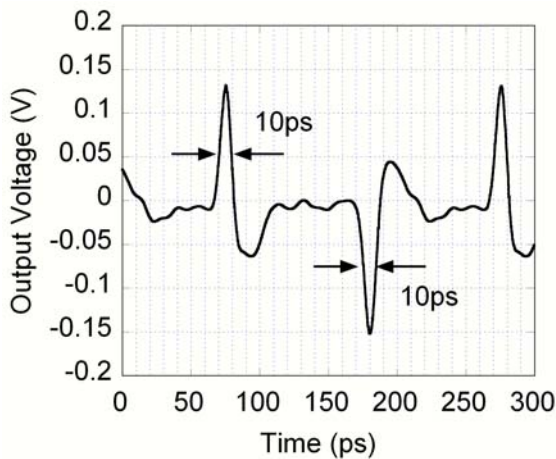


図2 作製した共鳴トンネルパルス生成回路の出力波形

## 2.2 受信システム

受信システムに関しては、本研究提案時において、(1)100GHzの繰返し周波数のUWB信号に対して、非同期検波のひとつである遅延検波を行うための単一磁束量子(SFQ)回路による時間-デジタル変換器(時間分解能2ps)の開発、(2)それをもとにしたアンテナ直結型検波システムの開発の2点を目標に据えた。しかし、研究推進の過程において、より構成が容易な同期検波において、送受信実験をする方針が決まり、それに従い、同期検波における回路構成法についても検討した。これらの回路の基盤となる時間-デジタル変換器に関しては特に詳細な検討を行い、分解能を制限するSFQ回路のジッターの原因を究明した。これらの結果により、受信システム構築の基盤技術を確立した。

## 2.3 広帯域アナログコンポーネント

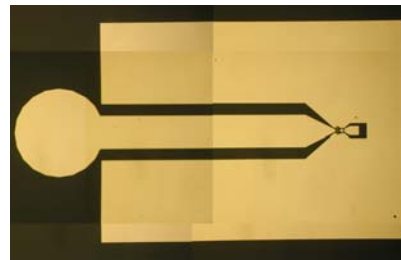
重要な開発課題の一つである広帯域アンテナは、送信側アンテナと受信側アンテナの電磁気学的な結合を周波数-振幅特性のみならず周波数-位相特性に着目して開発する必要がある。そこで、電磁気的な結合を動作原理とし広帯域で優れた周波数-振幅特性と周波数-位相特性を有するカプラ(方向性結合器)の開発・実験・考察をもとに広帯域アンテナの開発を試みた。

アンテナは、その形状にもよるが、種類によっては複数の伝送線路の組み合わせとみなすことができる。そこで、まず、我々は複数の伝送線路を電磁気的に結合させた構造をもつ『多段分布結合方式カプラ(方向性結合器)』で、どこまで広帯域な『周波数-振幅特性』と『周波数-位相特性』が実現できるかを考察した。この手法は、伝送線路で構成されるネットワークの周波数特性を効率よく解析することに役立てることができる。この手法を用いて広帯域アンテナを設計・試作し、80-100GHzで1.5以下のVSWRを得た。比帯域としては20%が確保されており、これを用いて2.4のパルス送受信実験を行った。

## 2.4 送受信実験

まず、2.1で述べた共鳴トンネルパルス生成回路と2.3で述べたアンテナを安価なセラミック基板上に集積するためのプロセスを開発した。これを用い、送信器チップを作製した(図3)。受信側もこれと同じタイプの平面アンテナで、上記からパルス生成回路を取り除いたものである。測定はカスケードのマイクロプローブを用いて信号の入出力を行った。入力側は50GHz帯域のプローブであるが、出力側には110GHz帯域のプローブを用いた。出力波形は図4に示すように、パルスではなく、70GHz程度の信号の正弦波が入力信号の周期によりチョップされた波束状の

ものが観測された。これはアンテナの周波数帯域がまだ狭く、かつ、その中心周波数が低いためと考えられる。今後、アンテナに関するより集中的な検討が必要と考えている。



写真右側の線路が狭くなった部分にRTDが配置されている。

図3 共鳴トンネルパルス生成回路とアンテナを集積した送信器チップ。

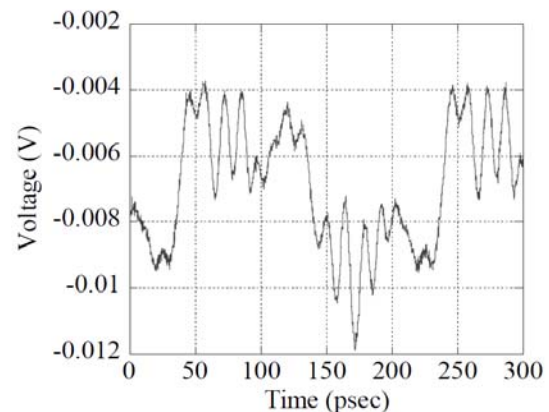


図4 アンテナ間送受信実験により得られた受信波形

## 3. むすび

100GHzを超える超高周波領域を用いた超広帯域(UWB)無線技術の基盤を構築するため、RTD発振器とSFQ受信器を軸に研究を進めた。RTDを用いたサブ10psパルス生成器を実現し、これをアンテナと集積化することにより、パルス送受信実験を可能とした。

### 【誌上発表リスト】

- [1] I. Soga, S. Hayashi, Y. Ohno, S. Kishimoto, K. Maezawa, T. Mizutani, "Direct integration of GaAs HEMT on AlN ceramic substrates using fluidic self assembly," *Electron. Lett.*, Vol. 41, pp. 1275-1276 (2005)
- [2] Y. Ookawa, S. Kishimoto, K. Maezawa, T. Mizutani, "Novel resonant tunneling diode oscillator capable of large output power operation," *IEICE Trans. Electronics*, Vol. E89-C, pp. 999-1004, 2006
- [3] K. Maezawa, Y. Ookawa, S. Kishimoto, T. Mizutani, Misao Takakusaki, Hirofumi Nakata "High Power Oscillations in the RTD Pair Oscillator ICs Fabricated with Metamorphic RTDs," *Jpn. J. Appl. Phys.*, in printing, (2007)

### 【申請特許リスト】

- [1]前澤、水谷、「 $\Delta\Sigma$ 変調器、 $\Delta\Sigma$ 型アナログ-デジタル変換器、及び、量子化器」、日本、特願2005-035196

### 【受賞リスト】

- [1]神道一恵、柳智子、安藤浩哉、後野昭次、藤井泰範、電気関係学会東海支部連合大会奨励賞、“3dBカプラの広帯域設計に関する考察”、平成18年1月24日
- [2]中村寛、神道一恵、安藤浩哉、後野昭次、電気学会優秀論文発表賞、“多段分布結合方式による広帯域3dBカプラの開発”、平成19年1月31日