

SICORP France ICT final summary

**Project title : WIreless communication using TeraHertz plasmonic-nano ICT devices
(WITH)**

**Coordinator of the French part of the project : Wojciech KNAP (L2C, Université.
Montpellier)**

**Coordinator of the Japanese part of the project : Taiichi OTSUJI (RIEC, Tohoku
University)**

Project period : 1 Nov. 2011 - 31 March 2014

CONSOLIDATED PUBLIC SUMMARY IN ENGLISH

WITH: WIreless communication using TeraHertz plasmonic-nano ICT devices

General objectives :

Exploring new technologies for ultrahigh-data-rate wireless communication to meet the strongly increasing demand for broadband ubiquitous ICT society

The strongly increasing demand for higher-data-rate wireless communication owing to the trend of a ubiquitous ICT society has led us to explore new frequency resources higher than any existing wireless communication band, approaching "terahertz (THz)" or 1000 GHz. For example in the very near future super-HDTV will become available for which over 40-Gbit/s wireless transmission over carrier frequencies of 400GHz and higher will be needed. THz and sub-THz waves can be considered for a wide aspect of last-mile, short-distance free-space high data-rate communication purposes using a several existing atmospheric windows with low attenuation (0.1dB/10m). However the feasibility of very high data-rate transmission with sub-THz to THz carrier is still an open question. There are two main problems: i) how to generate and modulate the sub THz signals, and ii) how to detect them. **Showing the feasibility and demonstrating the first high data rate ~40-Gbit/s communication prototypes at unexplored frequency range from 400 to 900 GHz by testing and improving existing devices and developing novel plasmonic nano-devices is the main goal of this 'WITH' project.**

Methods or technologies

The Japanese-French initiative on plasmonic nano-device technologies for ultra-broadband wireless communications using “terahertz” waves

In order to break through the speed limit of conventional carrier transit-type electron devices, we considered THz plasma oscillations in the 2D (two-dimensional) in nanostructures as a new physical mechanism of operation to realize i) frequency-tunable, room-temperature operating coherent monochromatic THz sources, ii) fast, detection of coded THz carrier waves, and iii) 10-40-Gbit/s intensity modulators for sub-THz and THz carrier signals. The fundamental structure of those devices was based on the nanometer high electron mobility transistors (HEMT's) and applicant's original dual-grating-gate (DGG) HEMT structures. Novel advanced device structures integrated with antennas were developed and integrated into the real devices/demonstrators. We developed also new/improved models of the most competitive existing THz sources based on the use of UTC-PD's (Uni-Travelling Carrier PhotoDiodes) as an alternative existing reference standard of state-of-the-art technology. Real test-bed sub-THz and THz wireless transmitter/receiver frontend devices were designed and integrated to demonstrate up to 40-Gbit/s class wireless communication, verifying the feasibility of the ultra-broadband THz wireless communications under a complementary, co-lateral collaboration between Japanese and French teams.

Project main results

The major achievements on this JST-ANR WITH project are (i) the development of ultrahigh-sensitive broadband plasma-wave detectors featured by a newly-invented asymmetric dual-grating gate (A-DGG) structure, and (ii) Building up 200-720-GHz class wireless communication test systems demonstrating world-record 40-Gbit/s error-free transmission of HDTV signals using THz frequencies.

The project accompanied/reinforced international research network (GDRI) with many other partners from Poland, France, Japan and Russia, leading to creation of EU founded COST action MP1204 **TERA-MIR Radiation: Generation, Detection and Applications.**

Added Value from International collaborative work

In the 2008 Beijing Olympic Games, Japanese researchers demonstrated a 10-Gbit/s wireless communication at a 120-GHz carrier frequency using standard technologies. In the same time the French groups were developing devices based on new physical principle plasma wave oscillations in nanometer Field Effect transistors. By joining there efforts in both countries successful wireless transmission was demonstrated in frequencies going up to 720 GHz and/or date rate going over 40 Gbit/s. This could be established only through this interdisciplinary research international collaboration.

Scientific production and patents

Very important achievement was the common patent on asymmetric dual-grating gate (A-DGG) structure. More than two hundreds publications were done in form of peer-reviewed journals (59) and conference communications (167). List of a few important publications: T. Otsuji et al., IEEE Trans. THz. Sci. Technol. 3, 63 (2013); W. Knap et al Nanotechnology 24, 214002(2013), S. Blin et al., IEEE Electron Device Lett. 33, 1354 (2012) ; J. Oden et al., Opt. Exp. 21, 4817 (2013) ; T. Nagatsuma et al., Opt. Exp. 21, 23736 (2013).

Illustration

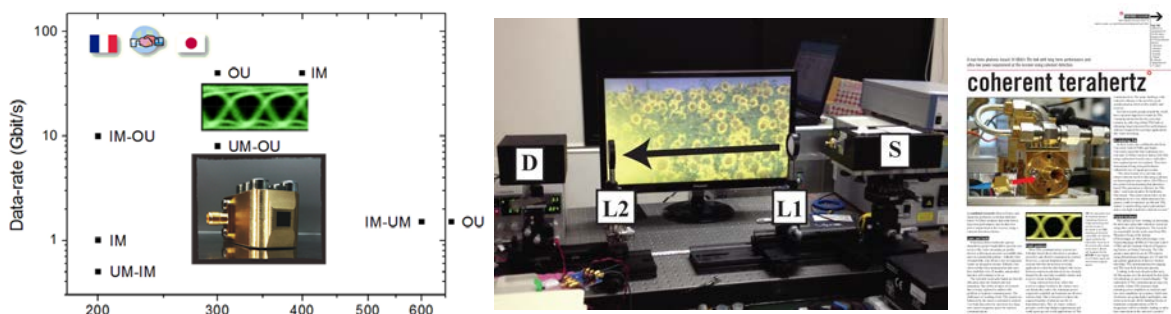


Fig. B1. Left : benchmarking the WITH project achievements for data rate vs. carrier frequency. Center : photograph of the uncompressed HD video transmission showing the frequency-multiplied source on the right, the plasma-wave receiver on the left (inside its electromagnetic shielding box), and two Teflon lenses in between for collimating and focusing. The source amplitude is modulated by a real-time high-definition and uncompressed video signal. Transmitted signal is observed on the TV screen at the background. Right: latest publication in IEE Electronics Letters has been highlighted as a “Featured Issue” of an excellent France-Japan collaborative work.

Factual information

The WITH project was an experimental research project exploring the limits of wireless communication using innovative technologies. It was coordinated by W. Knap (CNRS – Montpellier) in France and by T. Otsuji (Tohoku University) in Japan. It was associated with 3 French laboratories from CNRS-Univ. Montpellier (Montpellier), IEMN (Lille) and Univ. Savoie (Chambery), as well as 3 Japanese laboratories from Tohoku University (Sendai), Osaka University (Osaka), and RIKEN (Sendai). The project started on November 2010 and lasted 36 months. ANR grant amounted to 969,996 € (135.8 M¥) and JST grant amounted to 141 M¥ (1,007,142 €) for a total budget of 1,977,138€ (276.8 M¥) at an exchange rate of 1 € = 140 ¥.

SICORP 仏 情報通信技術 (ICT) 終了報告書 (概要)

課題名 : WIreless communication using TeraHertz plasmonic-nano ICT devices (WITH)

フランス側代表者名・所属 : 代表 : Wojciech KNAP (モンペリエ CNRS)

日本側代表者名・所属 : 代表 : 尾辻 泰一 (東北大学)

期間 : 2011 年 11 月 1 日 ~ 2014 年 3 月 31 日

CONSOLIDATED PUBLIC SUMMARY IN JAPANESE

WITH: テラヘルツ・プラズモニック・ナノ ICT デバイスを利用した無線通信

要約 : ブロードバンドでユビキタスな ICT 社会への高まる要求に応えるための超高データレート無線通信を実現するための新技術を開拓

ユビキタスな ICT 社会への潮流に従ってより高いデータレートのワイヤレス通信実現への要求が高まっており、既存の無線通信帯域よりも高いテラヘルツ、すなわち 1000 GHz に迫る新たな周波数資源の探索が必須となっている。例えば、非常に近い将来商用化が予定されているスーパーハイビジョンテレビジョンサービスは、400GHz もしくはそれ以上の搬送周波数で 40 Gbit/s 以上の無線伝送が必要になります。テラヘルツおよびサブテラヘルツ波は、いくつかの低減衰 (0.1dB/10m) の大気窓を通してラストマイルの近距離自由空間を高いデータレートで通信を可能とする様々な用途で有望視されている。しかしながら、サブテラヘルツからテラヘルツの搬送周波数による超高速データレート伝送の実現可能性は、依然として未解決の問題である。すなわち、i) サブテラヘルツ信号を生成・変調する手段、および ii) それらを検出する手段の 2 つの主要な課題がある。本'WITH'プロジェクトは、既存デバイスの改良と新規なプラズモニックナノデバイスを開発することによって、400~900 GHz の未踏周波数領域で世界初の 40 Gbit/s 級の高データレートな通信プロトタイプを実証することを目標とする。

手法 : テラヘルツ波を利用した超ブロードバンドユビキタス無線通信のためのプラズモニックナノデバイス技術に関する日仏先導研究

従来のキャリア走行型電子デバイスの速度限界を打破するために、我々は、二次元ナノ構造におけるテラヘルツプラズマ振動を新たな動作原理として導入し、i) 周波数可変・室温動作のコヒーレント単色テラヘルツ光源、ii) 高速、符号化されたテラヘルツ搬送波の検出、および iii) サブテラヘルツおよびテラヘルツキャリア信号に対する 10~40 Gbit/s 級の強度変調、の実現を目指した。これらのデバイスはナノメートルサイズの高電子移動度トランジスタ (HEMT) を基本構造とし、申請者らが発明したデュアルゲート型回折格子 (DGG) HEMT 構造を特徴とする。アンテナを一体化した新規の高度なデバイス構造は、開発した無線通信テストベッド (デモンストレータ) に実デバイスとして実装された。また、最先端の技術

の代替既存の参照標準として、UTC -PD（単一走行キャリア・フォトダイオード）をベースとする最も競争力のあるテラヘルツ光源を開発した。実際のサブテラヘルツおよびテラヘルツ無線送信機/受信機のフロントエンドデバイスを設計し、テストベッドとして集積・統合し、40 Gbit/s 級の無線通信の実験・実証を行った。これらは、日仏の完全な相補的共同研究の成果であり、超ブロードバンド・テラヘルツ無線通信の可能性を実証したものである。

プロジェクトの主な成果：

JST-ANR WITH プロジェクトにおける大きな成果は、(i) 新たに発明した非対称二重回折格子ゲート (A-DGG) 構造を特徴とする超高感度・広帯域プラズマ波検出器の開発、及び (ii) 200~720 GHz 級の無線通信テストシステムを構築することにより、テラヘルツ周波数帯を用いて HDTV 信号の世界最高 40-Gbit/s でのエラーフリー伝送の実証、である。本プロジェクトが契機となってポーランド、フランス、日本、ロシアからの多くの他のパートナーの参画を得て国際研究ネットワーク (GDRI) が強化され、その結果、欧州連合 (EU) の資金提供による COST アクションプログラム MP1204 「テラヘルツ～中赤外電磁波の発生・検出と応用」の創出につながった。

国際共同研究によって得られた付加的な価値：

2008 年の北京オリンピックでは、日本の研究者らは、標準的な技術を使用して 120 GHz の搬送波周波数で 10 Gbit/s の無線通信を実証した。ちょうどその頃、フランスのグループは、ナノメートルサイズの電界効果トランジスタ内におけるプラズマ波動の振動を新しい動作原理とするデバイスを開発していた。これら両国の科学者らの努力を融合することによって、無線伝送は 720 GHz までの未踏周波数帯において 40Gbit/s を超える超高データレートでの無線伝送を実証した。この成果は、学際的な本国際共同研究を通じて初めて確立されたものである。

プロジェクト開始以降の学術的な成果物：

非常に重要な成果は、非対称二重回折格子ゲート (A-DGG) 構造に関する国際共同出願特許である。また、得られた科学技術の成果は、200 編以上に及ぶ出版物として公表され、その中には 59 編の査読付学術論文と 167 件の国際会議講演が含まれる。代表的な 5 編の論文を以下に示す：T. Otsuji et al., IEEE Trans. THz. Sci. Technol. 3, 63 (2013); W. Knap et al Nanotechnology 24, 214002(2013), S. Blin et al., IEEE Electron Device Lett. 33, 1354 (2012) ; J. Oden et al., Opt. Exp. 21, 4817 (2013) ; T. Nagatsuma et al., Opt. Exp. 21, 23736 (2013).

説明図

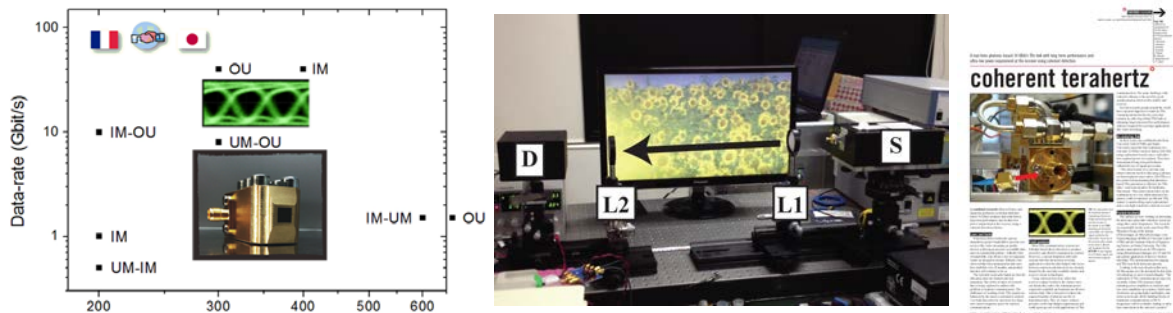


図 B1. 左：データレートとキャリア周波数の関係を指標とする本 WITH プロジェクト成果のベンチマーク。中央：非圧縮高精細テレビ映像信号の伝送写真。図中左には周波数逡倍型信号源、右にはプラズマ波受信機（電磁シールドボックス内）、両者の間には平行光・集光を得るための 2 枚のテフロンレンズが配置されている・リアルタイム高精細非圧縮映像信号によって信号源の振幅が変調される。送信された信号は、バックグラウンドで TV 画面上でモニターされる。右：IEE Electronics Letters 誌に掲載された最新の論文が日仏共同研究による優れた成果として“注目論文”として広報された。

事実情報：

本 WITH プロジェクトは、革新的な技術を用いた無線通信の限界に挑戦する実験的な研究プロジェクトであり、フランス側は（モンペリエ CNRS）のクナップウオイチェック、日本側は（東北大学）の尾辻泰一とによって企画・されたものである。本プロジェクトは、モンペリエ(MP)、リール(IM)とシャンベリ(SV)からの 3 つのフランスの研究グループと、東北大学（仙台）、大阪大学（大阪）、理研（仙台）からの 3 つの日本の研究グループとによって組織された。本プロジェクトは 2010 年 11 月に開始され、36 ヶ月間続いた。 ANR からフランス研究グループへの助成金は 969,996 €（135.8 M¥）、JST から日本研究グループへの助成金は 141 M¥（1,007,142€）で、総予算は 1,977,138€（276.8 M¥）であった（換算レートを 1 € = 140 ¥とした）。