

●電波と光の極限「テラとナノ」を操る

当研究室(光・量子情報科学グループ)では、1.テラヘルツフォトニクス分野(未開の電磁波領域であるミリ波・テラヘルツ波の発生・検出技術の開発と、通信・センシング技術への応用)、2.ナノフォトニクス分野(低次元光波および表面プラズモンを利用し、光波をナノ空間に閉じ込めてその伝搬を制御する技術と応用)、3.超高速フォトニクス分野(マイクロ波・ミリ波周波数領域における光信号の変調・制御技術とその応用)、の3つの技術分野を柱として研究を進めている。当研究室の強みは、電波・光波の双方の領域の技術を有することであり、電波(電気信号)で光波を制御したり、逆に光波で電波(電気信号)を発生、検出する技術など、いわゆる「光波と電波の融合」というアプローチを得意としている。本稿では、2009年度に得られたいくつかの成果を紹介する。

1. テラヘルツフォトニクス分野[1-4]

テラヘルツ波の様々な応用の中で、近年、高速無線通信への応用がにわかに注目されており、国内外でスタディグループが発足している^[1]。我々は、図1に示すような、フォトニクス技術を送信器に利用したアプローチによって、300GHz帯の電波の変調と発生を行い、300-400GHz帯におけるマルチチャネルギガビット無線伝送や、チャンネル当たり12.5Gbpsを超える世界最高の伝送速度を達成した^[2]。

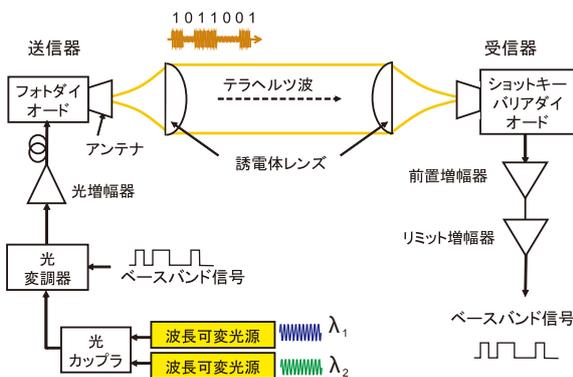


図1 フォトニクス技術を利用した300GHz帯無線リンクの構成。

また、上記の送信器では、光電変換デバイスとしてのフォトダイオードがキーデバイスであるが、同じフォトダイオードを受信用のミキサーとして用いる手法を提案し、フォトダイオードを送受信に利用した分光システムを開発した^[3]。その他、フォトニクス技術を用いたインコヒーレント光源を用いた、高品質画像のテラヘルツ波イメージング技術を開発した^[4]。

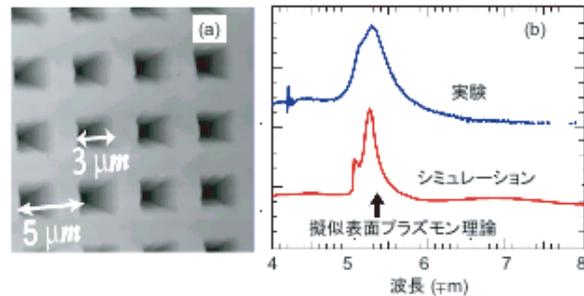


図2 マイクロキャビティアレイからの熱輻射。
(a) マイクロキャビティアレイの電子顕微鏡像。
(b) 熱輻射の実験と理論の比較。

2. ナノフォトニクス分野[5-7]

金属表面のナノ構造を利用すると熱輻射スペクトルを人工的に制御することができ、これを応用すれば高効率の熱輻射光源が実現できる。我々はマイクロキャビティアレイからの熱輻射のメカニズムを解明するため、図2に示すように金属表面に直方体型のホールを周期的にあけて、基板を通電加熱し、その熱輻射について調べた。その結果、周期がホール開口部に比べて十分大きい場合は、既存の理論とは異なる波長に熱輻射の増大が観測され、理論との比較から擬似表面プラズモン共鳴によるものと分かった^[5]。

そのほか関連するテーマとして、プラズモニック導波路における負屈折現象について研究し、金属薄膜導波路にパルス波を入射すると負屈折を観測できることを理論的に明らかにした^[6]。また、ナノプラズモニクスの考え方は、テラヘルツ周波数領域への適用も可能で、両者の融合は今後の進展が大いに期待される分野である^[7]。

3. 超高速フォトニクス分野[8,9]

位相関係が確定している多数の連続波光の集合体である光周波数コム(光コム)は、光通信や光計測など様々な分野で利用されており、特に光コムの形状(強度エンベロープ)を制御する技術が実用上重要である。

我々は、独自の手法として、電気光学偏向器を用いた光信号の時空間マッピング^[8]を利用する光コム生成技術を開発した(図3(a))^[9]。本手法では、単一連続波光の電気光学変調によって生成される光コム形状が、システム内の光ビームの空間形状と相似となる。一例として、図3(b)に示すように、ガウス空間分布のビームによって、ガウス型の強度エンベロープを持つ光コムを生成することができる。以上のように本手法は、簡便な空間フィルタを用いて光コム形状を制御できることが特長である。

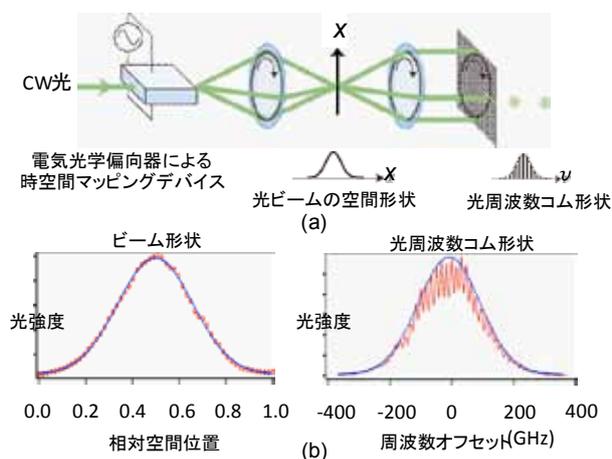


図3 時空間マッピングに基づく光周波数コム生成.

参考文献

- [1] 近畿総合通信局:「テラヘルツ波帯の情報通信利用に関する調査検討報告書」平成22年4月.
- [2] T. Nagatsuma, H. -J. Song, Y. Fujimoto, A. Hirata, K. Miake, K. Ajito, A. Wakatuski, T. Furuta, and N. Kukutsu, “Giga-bit wireless link using 300-400 GHz bands”, IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP)2009, Th.2.3, Valencia, (2009).
- [3] T. Nagatsuma, A. Kaino, S. Hisatake, K. Ajito, H-J. Song, A. Wakatuski, Y. Muramoto, N. Kukutsu, and Y. Kado, “Continuous terahertz spectroscopy system based on photodiodes”, PIERS Online, Vol. 6, No. 4, pp. 390-394 (2010).
- [4] T. Nagatsuma, T. Kumashiro, Y. Fujimoto, K. Taniguchi, K. Ajito, N. Kukutsu, T. Furuta, A. Wakatsuki, and Y. Kado, “Millimeter-wave imaging using photonics-based noise source”IRMMW-THz - 2009, M3C05.0088, Busan(2009).
- [5] Y. Ueba, J. Takahara and T. Nagatsuma, “Spoof surface plasmon in thermal radiation from microcavity array”, in Technical Digest of The 7th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (APNFO-7), Jeju, VIII-BT5, p.87 (2009).
- [6] 鎌田晃史、高原淳一、永妻忠夫:「負誘電体薄膜における負屈折II」、第57会応用物理学関係連合講演会 17a-P1-13 (2010).
- [7] 高原淳一:”テラヘルツ・ナノプラズモニクス”, O plus E, Vol.32, No.2, pp.180-184 (2010).
- [8] Shintaro Hisatake, Keiji Tada, and Tadao Nagatsuma, “Time-to-space mapping system using double electrooptic deflectors fabricated on a single LiTaO₃ substrate with "U" shaped microstrip line”, Proceedings of the Conference on Lasers and Electro-Optics 2009, CMLL5 (2009).
- [9] Shintaro Hisatake, Keiji Tada, and Tadao Nagatsuma, “Generation of an optical frequency comb with a Gaussian spectrum using a linear time-to-space mapping system”, Optics Express, Vol. 18, pp. 4748-4757 (2010).