

Active aging を支援する人に優しい診断治療機器の開発 — 生体計測用テラヘルツ波分光イメージングシステムの開発 —

四方 潤一
日大工・電気電子

【緒論】

人体に無害で非侵襲のテラヘルツ波 (THz 波) は、分子の識別能力をも有する未開拓の電磁波であり、医工学等の新分野への応用が期待されている。本プロジェクトでは、THz 波を用いた超高感度・超高解像度のバイオイメージングシステムの開発を目的とする。

本年度は、光ファイバ接続型で小型・省電力の連続動作のテラヘルツ波光源である UTC-PD (Uni-Traveling Carrier Photodiode [1]) を用いた THz 分光・イメージングシステムの構築を進め、基礎データを得ることに成功した。また、高出力パルス動作の TPO (THz-wave Parametric Oscillator [2-7]) の構成・光学調整により発振動作に成功し、THz 波発生の特徴を評価した。

【連続テラヘルツ波光源を用いた THz 分光・イメージング系の構築】

本研究で用いた THz 波光源と光学実験系の概要を図 1 に示す。UTC-PD から出力された微弱な THz 波を高感度に測定するため、THz 検出器に簡便な常温パイロディテクタを用いたロックイン検出系を構成した。UTC-PD には変調信号により強度変調した 2 波長励起光を入力し、UTC-PD からの THz 波出力に強度変調をかけ、THz 波のロックイン検出を行った。

実験ではまず、2 波長光のパワーを 13mW 付近に設定し、2 波長光周波数間隔の自動掃引を行った。その際、波長設定完了に同期したステータスモニタ信号と THz 波出力(ロックイン検出信号)

を取り込む LabVIEW 制御を行い、THz 波出力の自動計測を行った。その結果、0.2~1.5THz において周波数分解能 25GHz (=0.025THz) で THz 波出力特性の測定に成功し、THz 分光計測に必要な周波数掃引と THz 波出力測定を含む自動計測動作を確認した。これに基づき、固体参照試料を用いて THz 分光実験を行った結果、0.2~1.5THz 領域の THz 波分光計測 (周波数分解能 25GHz) にも成功した (図 2)。

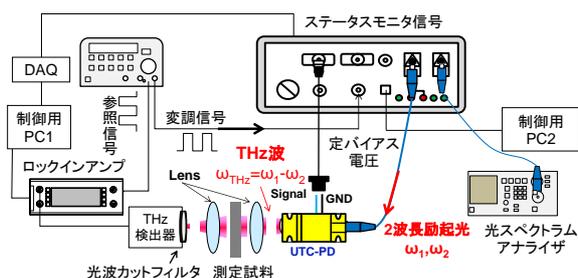


図 1 連続 THz 波光源の光学実験系

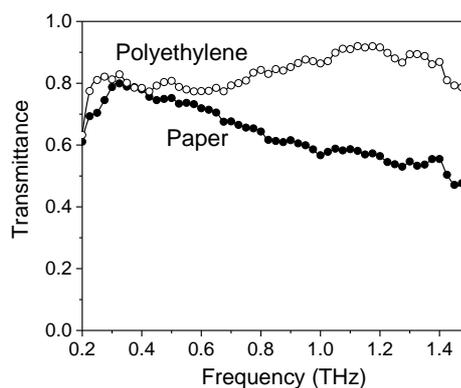


図 2 連続 THz 波光源を用いた分光測定例

さらに本システムに試料位置を走査する 2 次元可動ステージを追加して LabVIEW 制御を行い、固体参照試料(テストパターン)を用いて THz イメージング(1 次元透過配置)の基礎実験を行った結果が

図3である。回折理論から予測される THz 波周波数の上昇に伴った解像度向上が得られた。以上から THz 波分光・イメージングの双方の応用において基礎システムの正常動作を確認した。

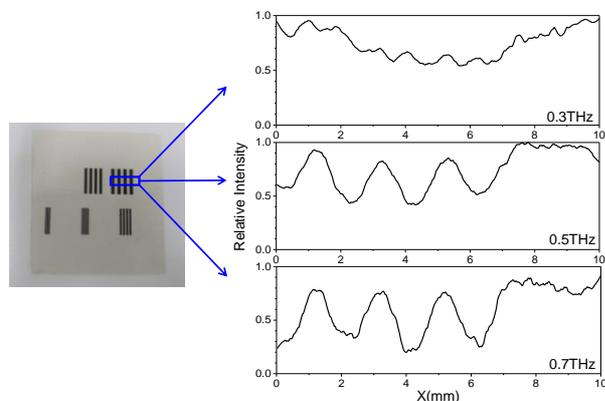


図3 連続 THz 波光源を用いた透過像測定例

【パルス動作テラヘルツ波光源の構成と基礎特性の評価】

パルスレーザ励起の THz 光源である TPO は、ナノ秒パルス動作で高輝度な THz 波出力が可能である。本年度は、所有する TPO 装置 (図4) に高反射率の光学ミラーを導入して共振器の Q 値を高めて高出力な THz 波発生を行い、常温パイロディテクタで THz 波検出することを目的として光学実験を進めた。

実験では Q スイッチ Nd : YAG レーザ (波長 $1.064\mu\text{m}$ 、パルス幅 25ns) をポンプ光として使い、発生するアイドラー光が同じ高さで周回するように共振器ミラーの精密な光学調整を行った (図4)。その結果、ポンプエネルギー 30mJ 付近でアイドラー発振を確認した。図5に示すように入射角 $\theta = 1.03 \sim 2.55^\circ$ で変化させた時、波長 $281 \sim 114\mu\text{m}$ (周波数 $1.0 \sim 2.6\text{THz}$) で THz 波発生を確認した。その際、1.5THz 付近の THz 波出力において、常温パイロディテクタが飽和するレベル (ピーク出力約 30W) を観測した。これは、UTC-PD からの連続 THz 波出力の 10 倍以上に相当する。

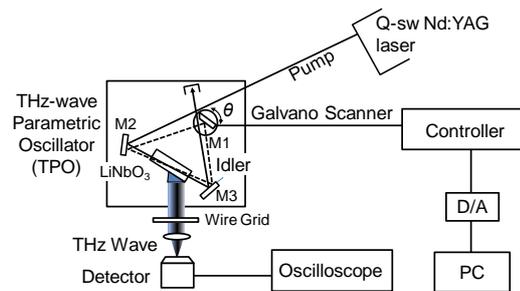


図4 パルス動作 TPO の光学実験系

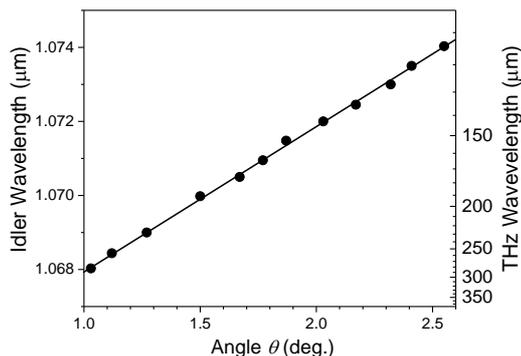


図5 パルス動作 TPO の角度同調特性

さらに、初年度に購入した THz 波イメージャ (NEC IRV-T0831) を用いて TPO からの THz 波ビームを計測した結果が図6である。これより、励起レーザ光のビーム形状を反映して THz 波もガウスビームに近い良好なビームプロファイルが得られていることが確認された。

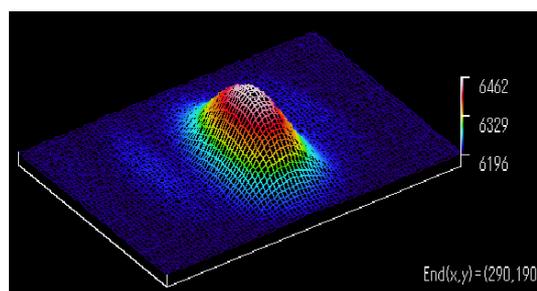


図6 出力された THz 波ビームの強度分布

【結論】

本年度は、連続 THz 波光源である UTC-PD を用いた THz 分光・イメージングの応用研究を進め、基礎データの取得に成功した。また、パルス動作 THz 波光源である TPO の構成と光学調整を行い、 $1.0 \sim 2.6\text{THz}$ で周波数可変な THz 波発生に

成功し、THz 波ビームプロファイルの測定にも成功した。今後はこれらの成果に基づいて THz 波分光・イメージングシステムを発展させ、その高感度化・高解像度化を進め、生体等への応用展開をめざす。

参考文献

- [1] T. Ishibashi, S. Kodama, N. Shimizu, and T. Furuta, *Jpn. J. Appl. Phys.* **36**, 6263(1997).
- [2] J. Shikata, M. Sato, T. Taniuchi, H. Ito, and K. Kawase, *Opt. Lett.* **24**, 202 (1999).
- [3] J. Shikata, K. Kawase, K. Karino, T. Taniuchi, and H. Ito, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* **48**, 653 (2000).
- [4] J. Shikata, K. Kawase, and H. Ito, *Electron. Commun. Jpn.: Part 2* **86**, 52 (2003).
- [5] H. Minamide, S. Hayashi, K. Nawata, T. Taira, J. Shikata, and K. Kawase, *J. Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves* **35**, 25 (2013).
- [6] S. Hayashi, K. Nawata, T. Taira, J. Shikata, K. Kawase, and H. Minamide, *Scientific Reports* **4**, 5045 (2014).
- [7] Y. Takida, J. Shikata, K. Nawata, Y. Tokizane, Z. Han, M. Koyama, T. Notake, S. Hayashi, and H. Minamide, *Phys. Rev. A* **93**, 043836 (2016).