

発想の転換

～ピコ秒光技術、テラヘルツ技術を例に～



若 者

永 井 正 也*

Innovations from the concept changing in the picosecond
and THz technologies

Key Words : Ultrafast optics, Terahertz technology, Waveplate

1. はじめに

1990年代の後半はチタンサファイヤレーザーをベースとした超短光パルス技術が急速に発展した時期で、光科学の多くの研究者が競って様々な物質でピコ秒 (10^{-12} 秒) 以下の時間スケールの超高速分光を行っていました。当時大学院生であった著者もチタンサファイヤレーザーの再生増幅器や波長変換のための光学系を自作し、特に半導体の超高速光応答を調べていました。これらの研究で得られた知見は将来の光コンピュータや高速通信、トモグラフィーなどの応用転換に不可欠であり、10年後の巷には超短光パルスレーザーがあふれると思っていました。

現在ではチタンサファイヤレーザーの励起光源が固体レーザーとなり、またファイバーレーザーや半導体レーザーなど安定な光源が多くリリースされるなど目覚ましい進化を遂げました。しかし産業応用が実現したものはレーザー加工や2光子顕微鏡など数えるほどで、学生時にイメージしていたほど超短光パルスレーザーは普及していません。これは最先端のレーザー機器や関連素子が非常に高価で光自身の取扱いも容易でなく、結果として廉価な代替技術をユーザーは選んだためと思われる。もちろん著者は長く超短光パルスを用いた分光を行った立場として、ピコ秒およびフェムト秒の時間スケールの応用に見切りをつけたわけではありません。むしろピ

コ秒・フェムト秒の時間スケールで発現する現象は必ず将来デバイスやセンサーとして身の回りに満ち溢れると考えています。ただこのような技術が世の中にどんな形でインパクトを提供するかを改めて見直す必要があると思えます。ここでは著者がこれまで行ってきた超短光パルスを用いた研究を例に、発想の転換が最先端技術の応用展開のカギを握るのではないかについて述べます。

2. ピコ秒の光パルスからピコ秒の電場パルスへ

ここで取り上げたピコ秒の時間スケールは周波数領域ではテラヘルツ ($\text{THz} = 10^{12}\text{Hz}$) に対応します。一般にテラヘルツ帯と呼ばれる 300GHz から 10THz の電磁波は、 10cm^{-1} から 300cm^{-1} の波数に対応しており、古くから遠赤外光と呼ばれます。この周波数帯には分子の回転スペクトルや強誘電体等のソフトモード、超伝導ギャップなど物質の機能や特性を決定付ける励起モードが数多く存在し、また室温 300K の熱揺らぎが約 6THz の振動エネルギーを駆動することから生体分子の機能との関連が議論されてきました。これらはピコ秒で揺らぐ内部電場が対応する周波数領域であるテラヘルツ帯の吸収として現れると言えます。この分光技術は食品や創薬管理、安全安心に向けたイメージング応用の基礎となることから、「評価・検査の道具」として応用を見据えた装置開発が行われてきました。

2007年より著者はJSTさきがけプログラムにおいて、高強度テラヘルツパルスを発生させ、その応用の模索を始めました。これはピコ秒の時間スケールで物質内部の電場揺らぎと等価な外力を物質内部に印加することができれば、固体物質の機能を劇的に変化させられると考えたからです。例えばこれまでデバイス検査の応用が期待されていた半導体分野では新しい超高速光変調器への展開が期待され、誘



* Masaya NAGAI

1973年8月生
東京大学 大学院工学系研究科 物理工学専攻 (2001年)
現在、大阪大学 大学院基礎工学研究科 未来物質領域 准教授 博士 光物性 THz 分光
TEL : 06-6850-6507
FAX : 06-6850-6507
E-mail : mnagai@mp.es.osaka-u.ac.jp

電体であればピコ秒低電力動作の強誘電メモリーに、また食品や製薬分野では製品検査からテラヘルツ波は照射に伴う分子操作によって創薬や製品品質の均一化への応用への展開も考えられます。超短光パルスレーザーは評価・検査の道具としてよりも加工などの応用として広く用いられていることを考えると、テラヘルツパルスも「新しい物質・デバイス機能を創出するための駆動力」として代替技術のない高付加価値の応用が生き残る可能性があります。

このようなパルス光を得るために、著者は超短光パルスと誘電体結晶の光整流過程を用いた高強度テラヘルツパルスの発生の開拓を行いました。図1はテラヘルツパルスの電場波形を示しています[1]。ピコ秒の時間だけ400kV/cm程度の電場が持続しているのが見てわかります。この電場強度は半導体のPN接合界面での電場よりも大きな値です。最近ではMV/cmを超えるテラヘルツパルスの発生も報告されており、物質操作に関する基礎研究は国内外で多く始められています[2]。

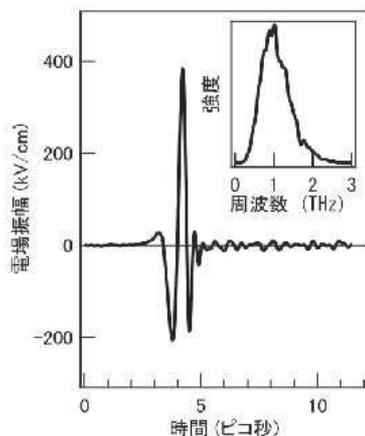


図1：超短光パルスと誘電体中の光整流過程を用いて発生した高強度テラヘルツ電場パルスの時間波形。

3. 金属板が汎用のテラヘルツ素子に

このようなテラヘルツ技術は、やはり廉価で使いやすいシステムという観点で応用はまだ不十分です。光源や検出器以外にもシステムを構築するのに不可欠な光学素子もこの周波数域ではほとんどありません。例えば光軸を変えることなく偏光を制御する受動素子として波長板があります。水晶、プラスチック、半導体などで作られた可視近赤外領域の波長板は、光エンコーダ、ディスプレイやプロジェクタ、

DVDなど光学式記録装置のピックアップ素子などで用いられ、現在の光システムにおいて必須素子です。しかしテラヘルツ領域では透明な複屈折媒質がなく、様々な材料探索や微細加工技術を駆使した人工媒質の作成が行われてきました。

最近、筆者は電波・マイクロ波領域の導波路技術を適用することで廉価な波長板が構築できることを見出しました[3]。マイクロ波技術に関する教科書にも書かれていることですが、金属平行平板間に電磁波を入射すると、その偏光の向きによって伝搬する電磁波の位相の進み方が異なります。したがって金属板の構造をうまく設計することで、ある周波数帯で一定の位相差を生み出すことができます。実際に化学エッチングによって周期的な開口を持つ金属板を整形し、等間隔に配置して素子を構築し、周波数0.67THzから1.21THzの周波数帯で波長板として偏光が制御できることを実証しました(図2)。この素子は実は別の用途で作成し偶然に波長板として動作することに気づいたのですが、テラヘルツ周波数帯のアイソレータや偏光に敏感な高感度赤外光センシングなど、他の新しい赤外光利用に展開可能な先端技術となりました。

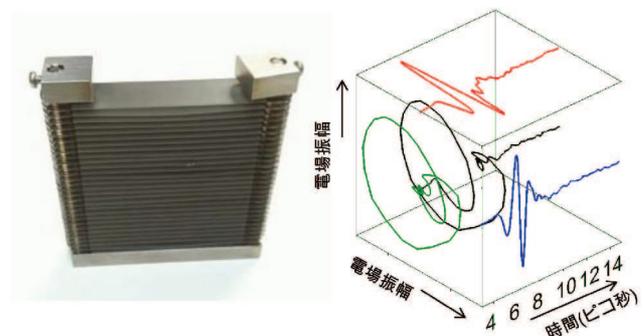


図2：金属板を並べて作成したTHz領域のアクロマート波長板と円偏光モノサイクルパルス。

4. おわりに

同じ基礎研究に長く携わっていると、自分の研究こそが将来の産業応用の中心となるという錯覚にとらわれます。しかしシーズとニーズの隔たりは大きく、最先端技術はあくまでもユーザーの一つの選択肢にすぎません。ここで紹介したテラヘルツ技術、ピコ秒の光技術が本当に役に立つのかどうかも、代替技術のない応用を提示できるのかどうかにかかっていま

す。既存の発想を大きく転換することで、意外な応用先が生み出されブレークスルーが生まれるのかもしれない。

参考文献

[1] M. Nagai, E. Matsubara, and M. Ashida, Opt.

Express, **85**, 011105 (2012).

[2] K. Tanaka, H. Hirori, and M. Nagai, IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology, **1**, 301 (2011).

[3] M. Nagai et al. Opt. Lett. **39**, 146 (2014).

