



## ＜研究紹介・自己紹介＞

研究項目 A01: 計画研究イ

「構造共鳴を利用したテラヘルツ波メタマテリアルの作製と機能」

研究分担者 永井 正也 (大阪大学)

超高速分光、光物性が専門の私がなぜメタマテリアルに興味を持ったかを述べるために、これまでの研究内容も含めた自己紹介をさせていただきます。私は石川県金沢市に生まれ、その後上京して東京大学大学院工学系研究科の五神真先生の研究室で博士号を取得しました。私が学生の頃はちょうどチタンサファイヤレーザーが広く普及した時期です。当時は製品として出回っていなかった自作の再生増幅器を研究室内で引き継ぎ、修士課程のときに改良を重ねてきました。そして光パラメトリック増幅器も自作し、中赤外領域の光学応答を調べることで半導体の強励起下での高密度光励起キャリアのダイナミクスを研究していました。

2001年秋に京都大学に赴任後は低周波領域の波長変換技術の展開としてテラヘルツ領域の発生および分光を行ってきました。テラヘルツ領域は光と電波の中間的領域で技術的に未開拓です。そこで私が得意としている超短光パルス技術を駆使することで、新しい分光装置の開拓を行い、様々な物質系のテラヘルツ応答を調べてきました。このときに金属の周期構造もまた測定対象としてそのテラヘルツ応答を調べてきました [1,2]。2007年からは JST さきがけプログラムがスタートしました。そこでは誘電体の光整流過程を用いた高強度 THz パルス発生技術を確立させ、それを用いて電子、格子、分子、さらにはスピン系を制御する試みを行ってきました。

2010年より大阪大学大学院基礎工学研究科に異動し、新しい研究方針の再考を行いました。先にも述べたとおり 1990年にチタンサファイヤレーザーのモード同期技術が確立して以来、超高速通信や光化学反応の促進など新しい時間領域、周波数領域で動作する技術開発が一気に加速しました。私も同じ挑戦を学生時代から一貫して行ってきました。ところが 20年たった現在では産業応用として普及したのはレーザー加工のみで、他の応用での産業化にはまだまだ時間が必要です。したがってピコ秒、フェムト秒の時間スケールで簡便に動作し広く普及できるデバイスの実現には根本的に新しいアイデアが必要ではないかと思うようになりました。そこで私は光パルスではなくピコ秒電場パルスでの物

---

質操作が重要ではないかと考えました。これまでの光パルスは電場振幅が何サイクルにも渡っており、励起状態を介して多段にわたるピコ秒のエネルギーの流れを議論する必要がありました。しかし電場のサイクル数を極限まで小さくしてピコ秒の時間で電場が持続するパルスを用いれば、電場でイオンや分子の配向をシンプルに駆動できるのではないかと考えました。現在大阪大学ではMg:LiNbO<sub>3</sub>結晶と2011年5月に移設した600μJのチタンサファイヤ増幅器を用いて高強度のピコ秒電場パルスの発生を開発しております。図1は当研究室で行っている電場パルスを示します。光サンプリング技術を用いてパルス電場振幅を測定しています。>380kV/cmの電場振幅を持つピコ秒電場パルスを実現しています。この電場強度は他の研究グループと比べると見劣りはしますが、励起光のパルス幅をわざと200fsと長くすることで、光整流過程を妨げる誘導ラマン散乱を抑制することで、0.2%を超える光-電場パルス変換を実現しています。この電場心腹測定には同じパルス幅の光サンプリング光を用いており、これにともなう波形の歪みを考慮すると>500kV/cmを超える電場強度を実現しています。

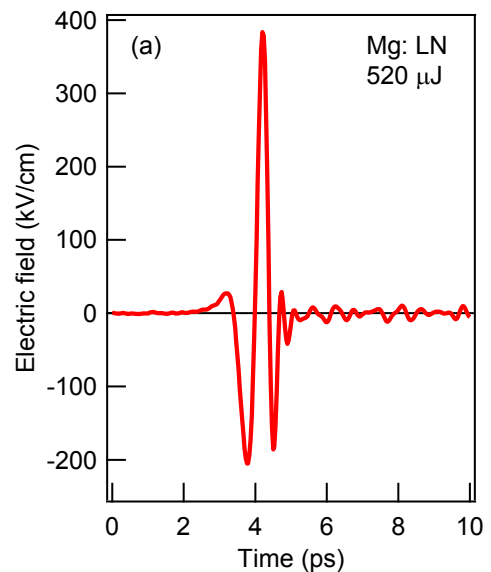


図1: 誘電体中の光整流過程を用いて発生した高強度ピコ秒電場パルスの実時間波形

このようなピコ秒電場パルスを物質に作用させる際に、メタマテリアルが重要な意味を持つと考えます。テラヘルツ領域には物質にとって多くの重要な素励起が存在します。しかし物質にとって重要なピコ秒の運動ほど外部からアクセスしにくく、光学許容な応答は限定的です。したがって物質にとって重要な励起だけをピコ秒電場パルスでいかに選択的で効率よく相互作用できるかが鍵を握ります。この役割を担うのが金属の周期構造、すなわちメタマテリアルであると考えております。現在は高強度ピコ秒電場パルスの位相を操作す

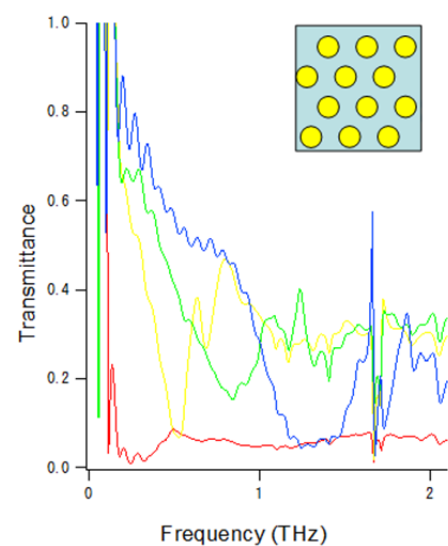


図2: メタルディスクアレイを用いたバンドカットフィルタの特性スペクトル



るためのメタマテリアル構造（図2）を構築し、ハーフサイクルに近いピコ秒電場パルスの実現を目指しています。そして金属周期構造を持つ非線形媒質（まずは半導体）を測定対象として非線形 THz 応答を観測する準備を行っています。

[1] Y. Minowa, et al. "Evaluation of effective electric permittivity and magnetic permeability in metamaterial slabs by terahertz time-domain spectroscopy", *Optics Express*, 16, (7), 4785-4796 (2008).

[2] Y. Minowa et al. "Extremely thin metamaterial as slab waveguide at terahertz frequencies", *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 1,(2) 441-449 (2011).