

高強度 THz パルス光源技術の新展開



廣理 英基

京都大学物質・細胞統合システム拠点

1960年のルビーレーザーの発明以来、レーザー技術はより広い波長領域の光を発生し、より強い光強度を実現するべく発展を繰り返してきた。90年代以降のフェムト秒チタン・サファイアレーザーの高出力化に伴い、非線形光学結晶を用いて近紫外から近赤外までの光パルスを発生する技術は飛躍的に普及した。最後まで「未開拓」の領域として残っていたのが、赤外線と電波の間の「テラヘルツ (THz) 光」である。

一般にテラヘルツ光というと、振動数 $0.1 \sim 10$ THz ($3.3 \sim 333 \text{ cm}^{-1}$)、エネルギー $0.4 \sim 41$ meV、波長 $30 \mu\text{m} \sim 3 \text{ mm}$ 程度の電磁波をさす。フェムト秒レーザー光を非線形光学結晶や光伝導アンテナに照射するとテラヘルツ波パルスを発生することは、90年代から知られていた。非線形光学結晶を用いる発生法は、入射光 (フェムト秒レーザーパルス) と発生光 (THz パルス) の間で位相整合条件を満たすことが必要である。このため原理的には光伝導アンテナを用いる手法よりも高出力で指向性が高く、短い THz パルスを発生することができるが、実際の結晶で位相整合条件を満たすには様々な困難がある。

最近注目を集めている高強度 THz パルスの発生法として、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3) を用いた「パルス面傾斜法」が挙げられる。この方法では LiNbO_3 結晶に強力なフェムト秒レーザーパルスを照射し、二次的非線形光学過程である光整流効果を利用してテラヘルツ波を発生する。このとき THz パルスの進行方向に対して入射光のパルス面を傾斜させるような配置を取ることにより、従来 LiNbO_3 では難しかった

位相整合条件を満たすものである。この方法により 3 THz 以下の周波数帯で 1 MV/cm 以上の電場振幅を持つ THz パルスが発生可能となった。これは従来使われてきた非線形結晶 ZnTe の場合 (10 kV/cm) に比べて実に 100 倍程度の高強度化となる。さらに、この手法で生成した THz パルスは電磁波の一周期 (単一サイクル) のみを有する、可能な限り最短のパルスとなる。

従来、THz パルスは主に物性評価のための分光手段として利用されてきたが、最近の THz パルス高強度化の技術革新は目覚ましく、物質の電氣的・磁氣的性質や結晶構造を励起・制御するためのパルスの外場としても応用され始めている。1 MV/cm という電場振幅は 10 nm 間隔の電極に 1 V の電圧を印加したときに生じる値に相当し、単一サイクルパルスはこれがサブピコ秒 (10^{-12} 秒) の間だけ持続する DC 電場とみなせる。このような高強度 THz パルスを使えば、可視域のレーザーパルスによる励起とは異なり、電子のバンド間遷移を伴うことなく、バンド構造を反映した電子の加速運動を調べることができる。その一例として、高強度 THz パルスの高電場により半導体中で急激に電子が加速され、衝突イオン化やプロットホ振動といった現象が引き起こされていることが明らかにされている。THz パルスは電磁波であるので、サブピコ秒の磁場パルスとして、磁性体のスピンを超高速で制御するための手法としても注目を集めている。今後、磁気非線形応答の研究への応用が期待されるなど、さらなる発展が見込まれる。

—Keywords—

非線形光学効果：

固体結晶の分極率 P が電場 E の非線形関数となるときのその結晶を非線形光学結晶と呼び、そこで起こる現象を非線形光学現象と呼ぶ。後者の例としては、二倍波発生、和周波発生、光整流効果、光パラメトリック効果などが挙げられる。

位相整合条件：

非線形光学効果を利用して光の波長を効率よく変換するためには、入射光と発生光の位相速度 (運動量) が等しいことが必要である。この条件を位相整合条件と呼び、結晶軸の方向を入射光に対して調整するなどの方法で実現される。

