

テラヘルツ時間領域分光法の高速化

安井 武史

大阪大学大学院基礎工学研究科

e-mail: t-yasui@me.es.osaka-u.ac.jp

http://sml.me.es.osaka-u.ac.jp/

テラヘルツ領域(周波数 = 0.1~10 THz; 波長 = 30~3000 μm)は、ちょうど光波と電波の境界に位置し、これまで良質なレーザー光源や高感度検出器が無かったため、ほとんど研究が行われていない未開拓電磁波領域であった。しかし、最近の安定な超短パルスレーザーの出現と超高速デバイス技術の発達により、パルス状のTHz波(以下THzパルスと略す)が比較的容易に生成・検出できるようになってきたため、以下に示す特徴と相まって新たな応用展開が活発になっている。THzパルスは、光波と電波の境界に位置するということから、その両者の性質を有するユニークな電磁波である。具体的には、(1)自由空間伝搬、(2)非金属材料に対する良好な物質透過性及び低散乱性、(3)極低エネルギー・極低侵襲性、(4)コヒーレントビーム、(5)超短パルス特性、(6)広帯域スペクトル、(7)イメージング測定や分光測定が可能、といった特徴を有する。近年、THz領域においてビタミン・糖・医薬品・農薬・禁止薬物・プラスチック爆弾・ガン組織を始めとした様々な物質が固有の吸収スペクトル(THz指紋スペクトル)を示すことが明らかになり、このTHz指紋スペクトルを利用したTHz分光法が新しいセンシング手段や品質評価手段として注目されている。

THzパルスを用いた代表的分光法であるTHz時間領域分光法(THz-TDS)では、まずTHzパルス電場の時間波形を取得し、それをフーリエ変換することにより振幅と位相のフーリエ・スペクトルを得る。しかし現状では、THzパルス電場の時間波形を直接的に実時間測定は不可能なため、ポンプ・プローブ法により間接的に時間波形を取得しなければならない(図1及び図2)。ポンプ・プローブ法では、フェムト秒レーザー光をTHz発生用ポンプ光とTHz検出用プローブ光に分岐し、ポンプ光をTHz発生素子(光伝導アンテナや非線形光学結晶など)に入射することによりTHzパルスが発生する。ここで、機械式ステージによる光路長変化(機械式時間遅延走査)をプローブ光に与えると、THz検出素子(光伝導アンテナや電気光学結晶など)に入射するTHzパルスとプローブ光のタイミングが変わり、プローブ光のパルス時間幅で切り出された各タイミングにおけるTHz振幅値を得ることができる。そして、プローブ光に、順次、光路長変化(時間遅延)を与え、異なるタイミングでのTHz振幅値を同一の時間軸上にプロットすることで、THzパルスの電場時間波形を再現することができる。時間軸はステージ移動量(光路長変化量)と光速から算出する。振幅及び位相のフーリエ・スペクトルは、THz電場時間波形をフーリエ変換することによって得る。THz-TDSにおけるスペクトル分解能は測定時間窓の逆数、スペクトル・レンジは時間波形のサンプリング間隔(時間分解能)の逆数でそれぞれ決定される。このような機械式時間遅延走査とフーリエ変換に基づいた従来法では、スペクトル分解能向上と測定時間短縮がトレードオフの関係にある上に(高いスペ

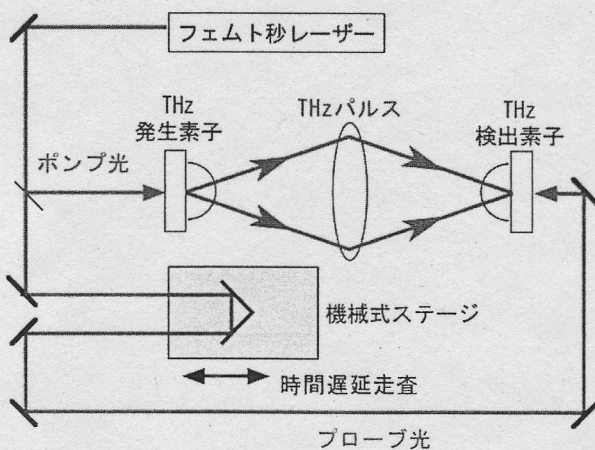


図1 実験配置(従来THz-TDS)

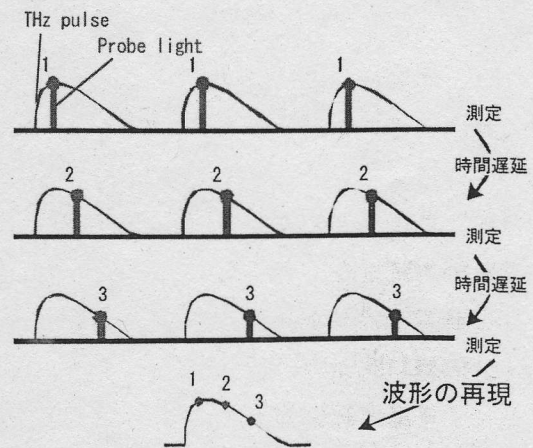


図2 測定タイミングチャート(従来THz-TDS)