解説

フェムト秒レーザーパルス励起による テラヘルツ波放射とその物性研究への応用

貴田徳明

東京大学大学院新領域創成科学研究科
kida@k.u-tokyo.ac.jp

宮本辰也

東京大学大学院新領域創成科学研究科
miyamoto@k.u-tokyo.ac.jp

岡本　博

東京大学大学院新領域創成科学研究科，産総研・東大先端オペランド計測技術オープンイノベーションラボラトリ
okamotoh@k.u-tokyo.ac.jp

電波と光波の中間の周波数（0.1～10 THz: 1 THz＝10^{12} Hz）の電磁波は，テラヘルツ波と呼ばれる．特に，中心周波数が1 THzのほぼ単一サイクルのテラヘルツ波は，その発生や検出が容易であるため物性研究に広く使われている．1 THz周辺には，固体の様々な素励起，例えば，強誘電体のソフトモードや磁性体のマグノン，分子性固体の分子の回転や振動モードが存在し，それらを調べるためにテラヘルツ波による分光は有効な手段となる．このテラヘルツ分光では，電磁波の波形そのものを測定できること，言い換えると，電磁波の強度だけでなく位相も測定できることが特長であり，それによって物質の光学定数の実部と虚部の両者を近似を使わずに決定できる．このテラヘルツ波の特長をより効果的に利用した物性研究はできないだろうか？　これが筆者らの研究の動機である．

反転対称性が破れた物質にフェムト秒レーザーパルスを照射すると，二次非線形光学効果によってテラヘルツで振動する分極が生じる．電磁気学によれば，分極が時間的に変動すると電気双極子放射によって電磁波が発生する．したがって，放射されるテラヘルツ波の時間波形には，光照射による分極の変化に関する情報が含まれている．それを解析すれば，光照射前後の反転対称性の破れや分極に関する微視的な知見が得られるはずである．最近，我々は，有機強誘電体に時間幅約100フェムト秒のレーザーパルスを照射すると，二次非線形光学効果の一種である光整流と呼ばれる現象によりテラヘルツ波が発生し，その位相が分極の方向に依存することを見出した．また，位相の場所依存性を測定することにより，分極ドメインをイメージングできることを示した．更に，テラヘルツ波の振幅（位相）と偏光を測定することにより，分極の大きさと向きのマッピング（分極ベクトルイメージング）が可能であることを実証した．

光照射によって物質の分極が変化する現象は，光整流以外にも幾つか存在し，光と分極の相互作用の性質に応じて多彩なテラヘルツ波放射が現れる．例えば，瞬時誘導ラマン散乱による分極変調では，狭帯域のテラヘルツ波が発生する．テラヘルツ波は，磁化の時間変化によっても発生する．これを利用すれば，強磁性体やフェリ磁性体の磁気ドメインをイメージングできる．テラヘルツ波は，電流の時間変化によっても生じる．ある種の極性半導体では，円偏光の光を照射するとスピン偏極した電流が特定の方向に流れるためテラヘルツ波が発生するが，その位相は円偏光を右回りから左回りに切り替えることで反転させることができる．

近年のフェムト秒レーザー技術の発展は，光照射によって物質の電子構造ががらりと変化する現象，いわゆる“光誘起相転移”の研究を加速させている．その一種である光誘起強誘電－常誘電転移においては，大きな分極変化が高速で生じるため高効率のテラヘルツ波放射が生じる．その時間波形を解析することにより，光誘起相転移のダイナミクスの情報を得ることも可能である．今後，更に短い時間幅のレーザーパルスによって放射されるテラヘルツ波の時間波形の測定やその空間分解測定を通して，テラヘルツ波放射が光誘起相転移研究においても強力なプローブになると期待される．

Keywords

二次非線形光学効果：
物質に光を照射したとき，光の電場の二乗に比例する分極が生成する効果．反転対称性を持たない物質で起こる．この効果によって入射した光の周波数の和や差の周波数を持つ分極が生じるが，電気双極子放射によって新たに生じた分極と同じ周波数の光が発生する．角周波数ωの光を入射したとき，2ωの光が発生する現象（第二高調波発生）や低周波数の分極や電流が発生する現象（光整流）は，二次非線形光学効果の代表例である．テラヘルツ波放射は，多くの場合光整流の一種と見なすことができる．

電気双極子放射：
荷電粒子が加速度運動すると電磁波が放射される．電気双極子モーメント（あるいは分極）の時間変化は，荷電粒子の運動に置き換えることができるため電磁波の放射を誘起する．これが電気双極子放射である．磁気双極子モーメント（あるいは磁化）の時間変化によっても電磁波が放射されるが，これは磁気双極子放射と呼ばれる．電気（磁気）双極子モーメントの時間変化がピコ秒の時間スケールで生じれば，その逆数（テラヘルツ）の周波数を持つ電磁波が放射される．

光誘起相転移：
固体に光を照射したとき，その電子構造や結晶構造が変化し相転移が生じる現象．その中で，物質の誘電性，磁性，光学特性が高速に変化する相転移は，光デバイスの新たな動作原理としても期待されている．光照射によって強誘電体の分極が高速に消失し常誘電体に転移すれば（光誘起強誘電－常誘電転移），その分極変化によって強いテラヘルツ波が放射される．

本記事は規定の長さを超過しておりますが，編集委員会の判断によりこのまま掲載しております．

©2019 日本物理学会