

大強度 THz 光源の現状と応用展開

谷 正彦

福井大学・遠赤外領域開発研究センター

High Power THz Sources and Their Applications

Masahiko Tani

Research Center for Development of Far-Infrared Region, University of Fukui

<Synopsis>

Recent development of high power/ high intensity terahertz radiation sources is summarized. Such high intensity terahertz sources enable us to carry out interesting researches and spectroscopies, which are not possible until recently. Some applications are illustrated and discussed.

近年、テラヘルツ(THz)波の光源技術が格段に進歩し、高強度、高出力の THz 波光源を利用した応用展開が始まっている。THz 帯発振の自由電子レーザー(FEL)、コヒーレントシンクロトロン放射光など、大規模な施設を要する光源だけではなく、フェムト秒レーザーを励起源とするパルス THz 波の発生技術が進歩したおかげで、比較的小規模な研究室レベルの装置で、ピーク電界で数 MV/cm もの高強度の THz 波電界を利用できるようになってきた。またコンパクト ERL(cERL)は自由電子レーザーやシンクロトロン放射光(CSR)などと同様、相対論的な電子ビームを用いるが、装置規模は従来のこの種の装置にくらべて格段に小型化され、かつこれまでになく高出力の THz 波を提供することができると期待されている。このような現状をかんがみ、本講演では高出力・高強度の THz 波光源を概観し、その応用例あるいは期待される応用について述べる。さらに筆者が最近取り組んでいる金属導波路構造における超集束効果（波長限界以下に電磁波を集束させる効果）を用いた THz 波の電場増強法についても触れる。

<THz 波高出力光源>

光源は一般に広帯域光源、単色（コヒーレント）光源、パルス発振、連続発振など様々な発振特性を持ち現在、高出力光源といっても一概に定義することが難しいが、ここでは 1kW 以上の出力を平均的あるいは瞬間的に得られるものを考えることにする。この場合、現在 THz 帯の高出力光源として利用できるのは主として 2 種類の光源である。一つは相対論的速度に加速した電子ビームバンチからの電磁波放射を利用した光源であり、THz 帯 FEL, CSR, THz

発振ジャイロトロンなどであり、cERLもこの種類の光源であるといえる。FELやジャイロトロンは単一波長発振する光源であるが、CSR、cERLは広帯域なパルス状のTHz波を放射する。cERLは通常のCSRよりも格段に強い強度が得られるとされており、 1 cm^{-1} あたりのピークパワーは1 MW以上と予想されている。もう一つのTHz帯高出力光源は再生増幅器などで増幅されたフェムト秒レーザーを非線形光学結晶などの媒質に照射し、非線形な波長変換過程により高ピーク強度のパルス状THz波を発生させるものである。ピーク電界ですでに数MV/cm(数MW/cm²)のTHzパルスの発生が報告されている。ただしパルス幅はピコ秒前後で数kHz繰り返しのものが多く、平均出力としては数mW(数μJ/pulse)程度である。平均出力は低いもののcERLと並んで現在もっとも高いTHz波のピーク強度が得られる光源であるといえる。またフェムト秒レーザーのほうが、装置規模が小さいという利点もある。

<高強度THz波の応用>

FELはさまざまな波長で発振可能なので、汎用性が高いと言えるがTHz帯発振のFEL施設は世界的にも数か所しかない。一方サブTHz発振のジャイロトロンは日本においては福井大の遠赤外領域開発センターなどが主導して開発を行っており、DNP-NMR(動的核偏極により核磁気共鳴信号を増強する手法)、セラミックのシンタリング(焼結)、THz帯ESRの光源として応用が展開されている。

cERLおよびフェムト秒レーザー励起による高ピーク強度のTHz波の応用として考えられるものを、すでに報告されているものを含め以下に列挙する。

(1) THz波による多光子励起

ピークパワーが大きく、平均パワーの低いTHzパルスを用いて、熱的な影響を極力抑えて、半導体中のキャリアを多光子励起し、その後の緩和過程を時間分解で調べることができる。フェムト秒レーザー励起のTHzパルスを利用して、InSb[1]とGaAs[2]について電子の多光子励起・イオン化を観測した例が報告されている。

(2) THz波による Ponderomotive force

振動電磁界中に置かれた電荷は電磁波の強度の勾配に比例した力を受ける(Ponderomotive force)。この力は波長の自乗に比例するため、高強度THz波により非常に強いPonderomotive forceを自由電子や半導体中のキャリアに作用させることができる。

(3) THz非線形物性

そのほか、高強度のTHz波を用いた分子や結晶の非線形応答の時間分解観測、THz波によるホールバーニング分光など、可視や近赤外域で行われているさまざまな非線形分光がTHz帯でも可能になると予想される。

[1] Hoffmann, *et al*, Phys. Rev. B **79**, 161201(R) (2009).

[2] Hirori, *et al*, Nature Comm. **2**, 594 (2011).

