

フェムト秒レーザーパルスが水から超高速テラヘルツ放射を生成

テラヘルツ放射は以前は、固体、気体、プラズマ(物質の「第4状態」)から生成されたが、これまでに液体からテラヘルツ光を生成したものはなかった。米ロチェスター大のオプティクス研究所、中国の華中科技大、天津大精密計測器とオプトエレクトロニクス工学部テラヘルツ波センター、首都師範大、露サントペテルブルク情報技術・機械・光学大のグループは、水にフェムト秒パルスの効果を利用してこの偉業を達成した⁽¹⁾。

研究グループの一員であるロチェスター大オプティクス研究所のチャン教授(X.-C. Zhang)は、「液体の水から高強度広帯域テラヘルツ波生成の実証は初めてである」と話している。

水からのプラズマ

その技術は、1kHz繰り返しレート、中心波長800nmの500fsレーザーパルスを水膜に集光し、膜内にプラズマを生成すると、約60fs幅のテラヘルツパルスを生み出す。入力レーザー光は、法線に対して25°の角度としてオプティクスに対する水の跳びはねを最小化する。

水はテラヘルツ放射の吸収性が高い(1THzで吸収係数 220cm^{-1})ので、水膜は非常に薄くしなければならない。これは、重力駆動、自由流動設定を用いて行っている。これにより、自由空間に177 μm 厚の連続する安定した水の垂直膜が得られる。この厚さは、水流レートを変えることで調整可能であり、光第二高調波強度オートコリレータを使って校正し計測される。これはデンマーク工科大の研究者が2014年

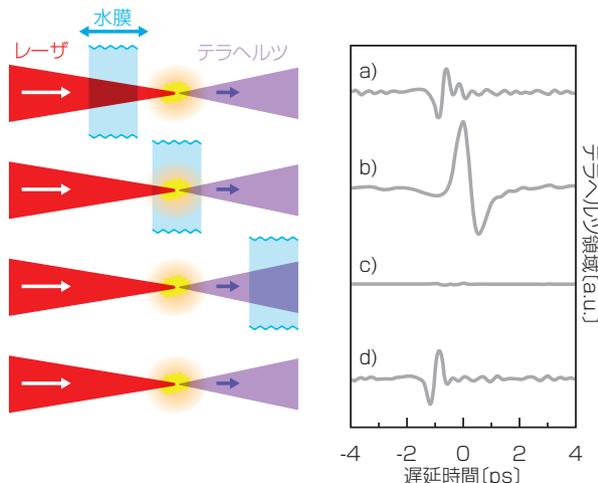


図1 水膜とその周囲の空気からのテラヘルツ放射出力は、分離して計測可能である。最上段の図は、レーザーがまず水膜をとおり、次に焦点を結び状況を示している。ここでは空気のテラヘルツ出力特性が見られる(最下段の図、水膜のない制御セットアップと同じ)。次、焦点が水膜そのものに移ったとき、水からの所望のテラヘルツ出力が見られる。最後に、レーザーが最初に焦点を結んで次に水を透過するとき、テラヘルツ出力は見られない。水でテラヘルツ放射が吸収されるためである。

に初めて開発した方法である⁽²⁾。

普通の空気に焦点を結ぶフェムト秒レーザーもテラヘルツ出力を生成できるので、2つの潜在出力はどうかして離して計測されなければならない。水がテラヘルツ放射を吸収することはわかっているので、これらの出力(空気と水から)は、水膜をレーザーの軸領域で軸方向に動かすことで分離して計測できる(図1)。

テラヘルツ放射を生成するレーザーパルスエネルギー励起は約160 μJ 。パルスエネルギーが420 μJ 以上に上昇すると、水膜は破れた。

テラヘルツ放射のパルス幅に対する依存度を測定する目的で研究チームは、入力光パルスの周波数チャープを変えて異なるテラヘルツパルス幅を得た。最短パルス、58fsは、周波数チャープなしで達成。しかしテラヘルツパルスの最大フィールドは、ネガティブまたはポジティブ周波数チャープ(チャープの方向は大きな違いにはならなかった)のいずれかで、相対的に長いパルス幅で

起こった。この挙動は空気プラズマにおけるテラヘルツ生成の挙動と対比される。空気プラズマでは、最短パルス(チャープなし)で最大領域となる。

結果としてのテラヘルツ放射の偏光に対する超高速光パルスの偏光の影響も調べた。光の偏光は半波長板で回転させた、それに対してワイヤグリッド偏光アナライザを使って、テラヘルツビームで結果を見た。p偏光光ビームは、s偏光光ビームよりもはるかに強力なテラヘルツ出力となり、テラヘルツp偏光成分と光の偏光角度との関係はほぼコサイン二乗であった。

今回の成果は、レーザーと液体の相互作用の研究、新しいテラヘルツ光源実現の双方に役立つと研究チームは考えている。(John Wallace)

参考文献

- (1) Q. Jin et al., Appl. Phys. Lett., 111, 071103 (2014); <http://dx.doi.org/10.1063/1.4990824>.
- (2) T. Wang et al., IEEE Trans. THz Sci. Technol., 4, 4, 425 (2014); doi:10.1109/tthz.2014.2322757.