気液界面におけるテラヘルツ光誘起平面衝撃波の発生

THz light induced plane shockwaves in the gas-liquid interface

量研関西研[1]，理研光量子[2]，阪大基礎工[3]　○坪内 雅明[1]，保科 宏道[2]，永井 正也[3]

QST KPSI[1], RIKEN[2], Osaka Univ.[3], ○Masaaki Tsubouchi[1], Hiromichi Hoshina[2], Masaya Nagai[3]

E-mail: tsubouchi.masaaki@qst.go.jp

従来のレーザーの産業・医療応用において、切削加工や光線力学的療法、レーシック等が既に実用化され広く利用されている。これらは光源として紫外光から中赤外光が用いられており、化学反応や生体反応の制御等へもその利用は進められている。これらの反応の多くは水溶液環境下に存在する分子や細胞への適用が要請されており、水中のターゲットにレーザー光を集光して直接光エネルギーを注入する手法、もしくは気液界面に集光してプラズマを発生させ、その後続過程で生じる衝撃波を利用する手法が用いられている。いずれも短波長レーザー光の高い集光性能に基づく、高いエネルギー集束と高い位置精度が要求されるが、レーザー光照射により分子解離やイオン化等を生じさせる破壊的過程に基づいているため、対象部位以外への損傷の危険性を有する。

そこで本研究では、テラヘルツ(THz)光の利用により、平面波状の衝撃波を気液界面で非破壊的に発生することで、従来の問題点を解決する技術開発を実施した。THz 光は水等の極性液体に強く吸収される（侵入長 10 μm 程度）ため、極性液体の気液界面に照射した際、表面近傍で強い吸収による急激な圧力上昇を生じさせる。その結果衝撃波が発生し、液体内部に音速で伝播すると考えられる。

図 1 に衝撃波の発生とその伝播をシャドウグラフ法により測定した結果を示す。用いた高強度 THz 光源は大阪大学産業科学研究所の THz 自由電子レーザー光(THz-FEL, 周波数 4 THz)である。図の上部から THz-FEL 光（マクロ、ミクロパルスエネルギーはそれぞれ 2.6 mJ, 17 μJ）を水と空気の気液界面に照射した際、衝撃波（横縞）が発生し水中深部へ伝播していく様子が観測された。本イメージは THz-FEL マクロパルス 1 ショットにより発生さいた衝撃波を積算せず単一フレーム（ゲート幅 10 ナノ秒）で測定した結果であり、マクロパルスに含まれる各ミクロパルスにより生じた衝撃波列を示す。衝撃波は水中での音速（1.5 km/s）で 3 mm 以上水中を伝播することがわかり、これは光の侵入長の 100 倍以上に達する。

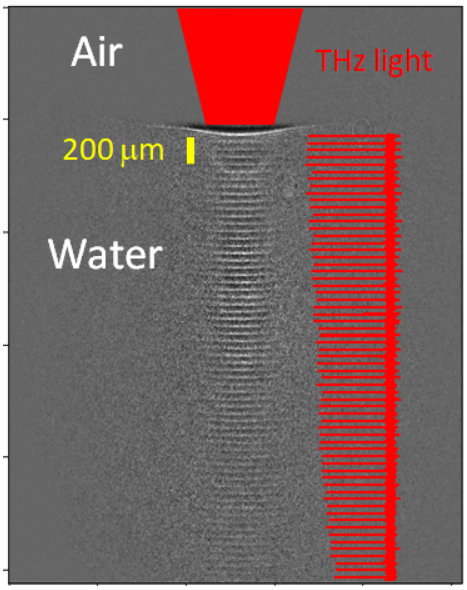

図 1: シャドウグラフ法で観測された衝撃波発生及びその伝播イメージ。右に挿入した赤い櫛は FEL のマクロパルス出力内のミクロパルス列を示す。

本手法はテラヘルツ光の水による強い線形吸収を用いた衝撃波発生であり、非破壊的な発生過程である。さらに強い吸収による高効率な光－衝撃波エネルギー変換過程であるため、従来法と比べて低いエネルギー密度（10^9 W/cm^2）のレーザー光を広い面積へ照射して衝撃波が発生可能である。これは平面波状の衝撃波発生を可能とし、従来法による点源からの球面波状衝撃波発生とは大きく異なる利点である。平面衝撃波は指向性が高いため、エネルギー散逸することなく液体内で衝撃波の長距離伝播を可能とする。さらに、平面波形状であるために衝撃波の反射やエネルギー集束等の幾何学的制御が容易となる。

【謝辞】この研究は「物質・デバイス領域共同研究拠点」の共同研究プログラムの助成を受けたものです。

© 2019年 応用物理学会