

高強度レーザーによる THz 発生と加工への応用

THz waves generation by intense laser and its application to material processing

京大化研¹, 京大院理² °橋田 昌樹^{1,2}Kyoto Univ. ICR¹, Kyoto Univ. GSS², °Masaki Hashida^{1,2}

E-mail: hashida@laser.kucr.kyoto-u.ac.jp

近年、高効率高繰返しの高強度 THz 波は半導体(光伝導スイッチ)や非線形光学結晶へ極短パルスレーザーを入射することにより発生されている。しかしながら、半導体や非線形光学結晶には損傷閾値があるため入射レーザーのエネルギーには限界がある。一方、レーザープラズマ相互作用により発生する THz 波の場合にはそのような損傷制限がなく、より強いレーザーを照射することが可能であるため、高強度 THz 波源の一つである。我々は高強度 THz 波光源の可能性を探るべく、高強度レーザープラズマ相互作用により発生する THz 波の放射特性を調べてきた。レーザープラズマには飽和や損傷制限がないため、高強度レーザーを用いることにより高エネルギーの THz 波の発生が期待される。プラズマ源としては気体^{1),2)}、固体³⁾及び、それぞれの長所を併せ持つと考えられるクラスター⁴⁾⁻⁸⁾がある。講演では、光源応用の観点からクラスターを対象にした我々の成果を中心に THz 発生動向を報告する。加えて最近報告されはじめた高強度 THz による物質加工に関する最新成果を紹介する。

高強度レーザー生成クラスタープラズマからの THz 放射⁴⁾⁻⁸⁾

実験では高強度フェムト秒レーザー(中心波長 800nm、パルスエネルギー10mJ、パルス幅 40fs-1000fs)を気体もしくはアルゴンクラスターへ集光照射した。発生した THz はポリエチレンレンズで平行ビームにした後、ボロメータによりエネルギーを測定した。アルゴンクラスターは、真空ガラスチャンバー内に高圧アルゴンガスをパルスバルブにより注入し断熱冷却することで生成した。実験では、直径約 10nm のクラスターが生成されるようにアルゴンガス圧を調整した。クラスターから放射される THz は入射レーザーの伝播軸方向に指向性良く放射する成分と前後方向に円錐状に放射する2つの成分からなっており、それぞれの偏光は直線偏光とラディアル偏光であった。THz のエネルギーは 570nJ であり、大気プラズマから放出される THz のエネルギーに比べて 600 倍増大した。円錐状の THz 放射分布は電気四重極放射が寄与している可能性を示唆するものである。レーザー伝播軸方向の THz 放射は、パルス幅を 40fs から 200fs に長くすることで約 5 倍程度増強⁷⁾され、更にダブルパルス照射することで、指向性良く放射する成分の THz 出力が約 10 倍程度増加⁸⁾した。

高強度 THz によるナノ周期構造形成

近年 1mJ を超える THz 波が報告され様々な材料表面がアブレーションすることが報告されはじめています。特に自由電子レーザー(波長 50-82μm、ミクロパルス幅約 20ps、マクロパルスエネルギー1mJ、マクロパルス繰返し周波数 5Hz)からの THz 波を使ったアブレーション実験では、固体表面(シリコン)に THz 波長λより短かに短いλ/25 の周期構造が形成されることが見出された⁹⁾。形成された周期構造は THz 波の偏向方向に対して平行であった。しかし、照射回数を重ねると偏向方向に垂直なλ程度の周期構造が形成されることが分かってきた。THz 波により形成される構造物の様子を時間分解計測できれば、なぜ構造ができるのか?どこまで小さい構造ができるか?を解く鍵になると考えられる。

謝辞: 本研究一部は、科学研究費補助金(16K06745)及び京都大学化学研究所の共同利用・共同研究「2016-4, 2017-2」の助成を受けて実施された。

本研究の共同研究者: 森 一晃(京大院理)、長島 健(摂南大)、李 大治(レーザー総研)、入澤明典(阪大産研)、井上峻介(京大化研)、阪部周二(京大化研)

参考文献:

- | | |
|---|--|
| 1) Appl. Phys. Lett. 99 , 161505(2011). | 2) Appl. Phys. Express 5 , 026201 (2012). |
| 3) Sci. Rep. 5 , 8268(2015). | 4) Opt. Exp. 17 , 8807 (2009). |
| 5) Appl. Phys. Lett. 99 , 261503 (2011). | 6) Appl. Phys. Lett. 102 , 191106(2013). |
| 7) ALPS2014, pp.75-76 (2014). | 8) Appl. Phys. Lett. 111 , 241107(2017). |
| 9) Appl. Phys. Lett. 111 , 251602(2017). | |