

金属ナノ構造を用いた中赤外超短パルス電磁場の増強

Field-enhancement of Mid-Infrared pulses by using metal nano-structures

農工大工 ○草 史野, 芦原 聡

Tokyo Univ. of Agri. & Technol. °F. Kusa, S. Ashihara

E-mail: 50013834101@st.tuat.ac.jp

中赤外超短パルスを用いることにより、分子の状態と周囲環境を時間分解観察できる（非線形振動分光法）。また、波形整形された赤外パルスによって、分子の振動モードを選択的に励起し、分子の状態や化学反応を自在に制御することも期待できる。（赤外コヒーレント制御¹⁾。しかし、既存の光源から得られる中赤外パルスのエネルギーが限られているため、観ることのできる分子のダイナミクス、起こすことのできる分子の反応が制限されている。この問題を解決するため、金属ナノ構造の電場増強効果に着目した。金属ナノ構造に求められる特性は、中赤外域で高い電場増強を起こすこと、増強度関数（増強度を周波数の関数として表したもの）の線幅が光パルスのスペクトルをカバーすることである。我々は、上記の条件を満たす金属ナノ構造の探索・設計、作製を行ってきた²⁾。FDTD 法による数値計算を用いて、様々な金属ナノ構造近傍での電場（強度）増強度を比較したところ、中赤外でもっとも高い増強を起こす構造は、ロッド（数 100 倍）およびギャップロッド（数 1000 倍）であることが明らかになった。そこで Au ナノロッド構造に注目し、数値計算と実験によって、その電場増強特性の詳細（共鳴周波数、増強度、増強度関数の線幅）を調べた。結果の一例として、異なる長さをもつロッドにおける増強度関数を図 1 に示す（ロッドの幅と厚みは、100 nm、ロッドの周りは真空中に設定）。縦軸は電場強度の増強度、横軸は周波数である。ロッドの長さが長くなるにつれ、ピーク周波数が低周波数側にシフトすることがわかる。また、線幅が細くなりつつ増強度のピーク値が高くなることがわかる。赤い領域は、時間幅 100 fs の中赤外パルスのスペクトルである。増強度関数の線幅がパルスのスペクトルをカバーしていることが分かる。図 2 は、電子線リソグラフィにより作製した Au ナノロッド（ZnS 基板の平面上に縦横 5 μm 間隔に並んでいる）の消衰スペクトルである。中赤外域にて、プラズモンの励起に伴うピークを確認できる。消衰スペクトルのふるまいは定性的には数値計算の結果と一致している。以上の結果から長さ 1~3 μm のナノロッドを用いることにより、中赤外パルスの電場強度を数 100 倍以上増強できるといえる。

1. Rabitz et al., Science 288,824,(2000). 2. 草 史野他、第 74 回秋季応用物理学会学術講演会, 13p-F8-5, 愛媛大学, 2012 年 9 月

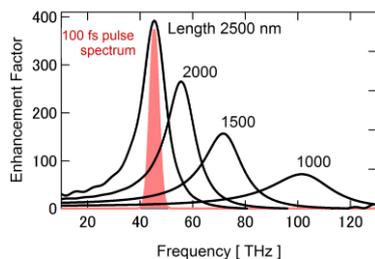


図 1 ロッドの増強度関数（数値計算）

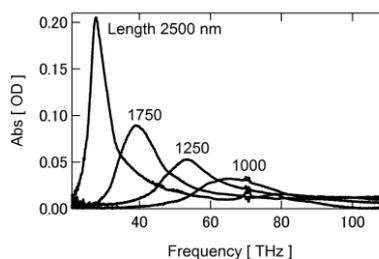


図 2 Au ロッドの消衰スペクトル（実験）