

金ナノロッドによる中赤外超短パルス電場の共鳴増強と光電界放出

Electric-field enhancement of MIR pulse and photoemission with Au nanorods



○草 史野^{1,2}, K. E. Echternkamp³, C. Ropers³, 芦原 聡²

農工大院工¹, 東大生研², Univ. of Göttingen³

E-mail: kusa@iis.u-tokyo.ac.jp

金属ナノ構造の電場増強効果を、非線形光学現象に応用する流れが、近年活発になってきている。そういった非線形光学現象のひとつに、光電界放出が挙げられる¹。光電界放出では、物質内の電子が、光電場によって物質外部に引き抜かれる現象である。ナノ探針の先端に光パルスを照射することにより、時間的にも空間的にも局在した光電場を発生させることができ、それによって放出される電子も超短パルスになっている。この分野では、電子時間分解電子線回折や大型加速器の電子源としての応用に向けて研究が進められてきた。しかし、そこで用いられる金属ナノ探針の電場増強効果は、避雷針効果によるものであり、プラズモン共鳴によるものではなかった。また、そこで使われている波長も主に、チタンサファイアレーザーの 800 nm であった。今回、我々は中赤外域においてナノロッドを用いて、共鳴的な電場増強を起こし、光電界電子放出を実現することに成功したので報告する²。我々は、いままでの研究で、長波長に共鳴をもつナノロッドほど、プラズモンの放射ダンピングおよびオームダンピングが抑制され、電場増強度が高くなることを見出した³。また、中赤外域には、長い振動周期ゆえに低い入射強度で光電界放出が起こる、構造への熱ダメージが少ない、などの利点がある。

図 1 に ZnS 基板上に作製した金ナノロッドアレイの SEM 画像を示す。各ナノロッドの長さは 1 μm で、基板上に縦横ともに 5 μm の間隔で並んでいる。真空チャンバー内に設置したナノロッドアレイに、中赤外パルス（時間幅 100 fs、ピーク強度 1.8 GW/cm²、中心波長は 3-10 μm の間で可変）を照射し、光電子の放出量を計測した。図 2 に金ナノロッドの消衰スペクトル（黒の実線）と電子放出量（青）および電場強度増強度（赤）の励起波長依存性（励起光ピーク強度は 1.8 GW/cm² に固定）を示す。プラズモン共鳴を反映して電子放出が起こる様子が見て取れる。電子放出量の励起波長依存性が非常に鋭い共鳴ピークを示す理由は、電子放出現象が光電場に対して極めて大きな非線形性をもつため、と説明できる。今後の展望としては、ナノロッドの空間配置や中赤外パルスの時間波形をデザインすることによる、電子パルスの時間波形や放出方向の制御が考えられる。

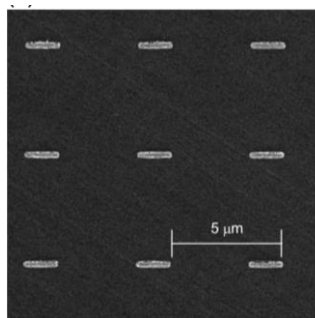


図 1 ナノロッドアレイの SEM 画像

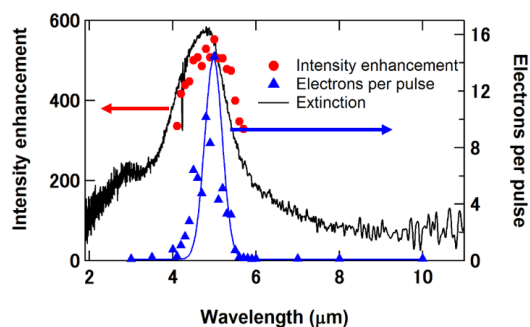


図 2 電子放出と電場強度増強度の波長依存性

¹Kruger et.al, J. Phys. B-at. Mol. Opt. Phys. 45 (2012) ²19th International Conference on Ultrafast Phenomena, 08.Tue.B.4, Okinawa, Japan, July, 2014 ³Kusa et. al, J. Appl. Phys. 116, 153103 (2014)