

金ナノ構造からの電子放出を用いた光電場計測素子の開発 II

Optical field measurement device using photoemission from gold nano-antennas II

東大生研¹ ○(M2)新井 滉¹, 岡崎 大樹¹, 森近 一貴¹, 芦原 聡¹

IIS, The Univ. of Tokyo¹, ○Ko Arai¹, Daiki Okazaki¹, Ikki Morichika¹, Satoshi Ashihara¹

E-mail: k34arai@iis.u-tokyo.ac.jp

高強度フェムト秒レーザー技術の発展により, 高次高調波発生やトンネルイオン化など, 従来の摂動論の枠組みを超えた現象の研究が拓かれた^{1,2)}. これらの現象は光電場駆動現象と呼ばれ, 瞬時電場の向き・大きさに鋭敏に依存する. 故にこれらの本質的な理解や応用発展のためには, 励起光であるフェムト秒パルスの電場波形, 特にキャリア・エンベロープ位相 (CEP) の計測技術が重要となる. 現在主流の CEP 計測法として stereo-ATI³⁾ が挙げられるが, 真空装置・高強度レーザーを必要とする問題点がある. そこで本研究では, 大気環境下で簡便に CEP を計測できる on-chip デバイスの開発を目的としている.

Stereo-ATI に代わる簡便な CEP 計測法に向けて, 金属ナノ構造からの光電界電子放出を用いた手法に注目した. この手法は真空装置が不要かつ, プラズモン増強効果の恩恵で低パルスエネルギーでの CEP の計測が可能といった特徴を持つ. これまでに我々は, 先行例⁴⁾より大きなポンデロモータビリティエネルギーを持ち, 光電場駆動現象のドライバーとして有用な Cr²⁺:ZnS レーザー⁵⁾ (2.3 μm , 60 fs, 40 MHz) の波長帯にプラズモン共鳴を持つ導通金ナノアンテナアレイデバイスを作製し, sub-nJ の低パルスエネルギーかつ大気環境下における電流計測に成功した⁶⁾.

今回はさらに歩を進め, 計測された電流が瞬時の光電場を反映しているかを検証するため, 非対称電場による電流計測を行った. 非対称電場は, PPLN 結晶を用いて発生させた二倍波 (1.15 μm) と基本波 (2.3 μm) と重ね合わせることで生成し, CaF₂ ウェッジプレート対により基本波と二倍波の間の位相関係を変化させることで, 非対称電場の向きを制御した. また Fig.1 に示すように, アンテナの中心からずれた位置に導線を配置することで, 本来ダークモードである二倍波の増強も狙う構造を採用した. ウェッジプレートの挿入長に対する電流値を Fig.2 に示す. ウェッジプレートの挿入に対し, 周期的に変調する電流検出に成功した. 電流の変調周期から見積もられる屈折率差は 8.9×10^{-3} であり, これは文献値⁷⁾ (5.6×10^{-3}) と同オーダーである. また, この際の増強場における二次光の電場振幅は, 基本波の 3 %程度と見積もられるのに対し, 観測された電流の変調度は 13.3 %であった. このことは, 本デバイスが光電場の向きの微小な変化を鋭敏に反映していることを示唆し, これは CEP 計測素子としての応用可能性を示すものである. 今後は本デバイスを用いた CEP 計測の実施, 及び S/N 比の改善を目指す.

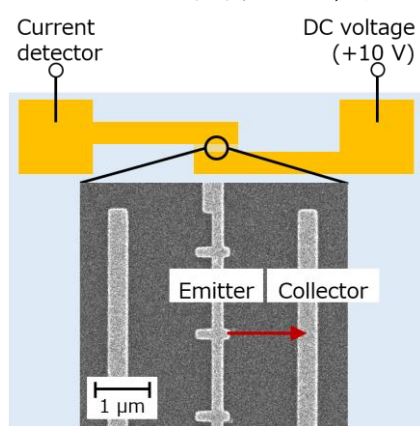


Fig.1 SEM image of antenna array for current detection induced by antisymmetric field.

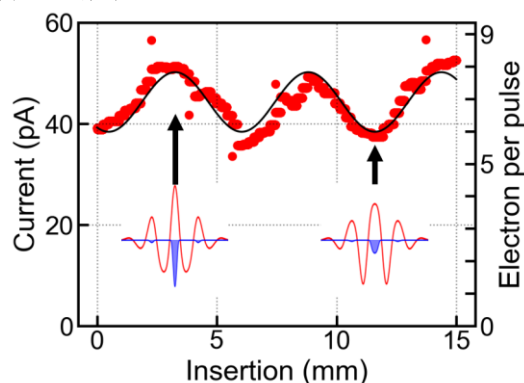


Fig.2 Current modulation by insertion of CaF₂ wedge plate. The black line is a fitting curve. Insets are schematic images of photoemission.

1) P. B. Corkum, *et al.*, Nat. Phys. **3**, 381 (2007).

2) M. Krüger, *et al.*, Nature **475**, 78 (2011).

3) G. G. Paulus, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **91**, 25 (2003).

4) W. P. Putnam, *et al.*, Nat. Phys. **13**, 335 (2016).

5) D. Okazaki, *et al.*, Opt. Lett., **44**, 7, 1750 (2019).

6) 新井滉 他, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会 10a-Z19-6 (2020).

7) I. H. Malitson, Appl. Opt. **2**, **11**, 1103 (1963).