

＊課題番号 : F-12-HK-0022  
 ＊支援課題名 (日本語) : 時間分解多光子光電子顕微鏡による金ナノ構造のプラズモン特性  
 ＊Program Title (in English) : Near-field properties of plasmonic nanostructures probed by nonlinear photoemission electron microscopy  
 ＊利用者名 (日本語) : 久保 敦  
 ＊Username (in English) : Atsushi Kubo  
 ＊所属名 (日本語) : 筑波大学大学院数理物質系物理学域  
 ＊Affiliation (in English) : Graduate School of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba

**＊概要 (Summary) :** 金ナノ微粒子は、プラズモン共鳴を示し、ナノ粒子近傍において光電場増強効果を示す。しかし、空間分解能高い近接場顕微鏡を用いたとしても、近接場の空間分布を可視化するためには、十分な高い分解能を有していない。本研究では、多光子励起の光電子顕微鏡を用いて、金ナノ構造が示すプラズモン特性について明らかにすることに成功した。さらに、フェムト秒レーザーとポンプアンドプローブ法を用いて、プラズモンの位相緩和過程を追跡することに成功した。

**＊実験 (Experimental) :**

ルチル型単結晶酸化チタン基板 (0.05 wt% Nb ドープ) 上に超高精度電子ビーム露光装置、およびヘリコンスパッタリング装置を用いて金ナノ構造体 (金ナノロッド (95 nm × 180 nm × 40 nm)、金ナノディスク (135 nm)) を作製した。方法は、電子線リソグラフィ/リフトオフ法を用いた。パルス幅 7 fs のフェムト秒レーザーパルス (波長 800 nm) を光電子顕微鏡に導入し、多光子過程を介した光電子放出により近接場の空間分布を可視化した。また、フェムト秒パルスを Mach-Zehnder 干渉系を用いて二つのビームに分割し、光学遅延システムを利用して、2 つのパルスを同軸且つ任意の時間幅で遅延させて光電子顕微鏡に導入した。

**＊結果と考察 (Results and Discussion) :**

図 1(a)および(b)に金ナノロッドおよび金ナノディスクを用いて測定した光電子顕微鏡像を示す。データはここでは示していないが、水銀ランプを照射した場合は、1 光子過程で光電子像が得られるために、図 1(a)(b)内の SEM 像のように構造体の形状に反映した光電子顕微鏡像が得られるが、フェムト秒レーザーを照射した場合は、図の写真のように光電場増強の高い構造のエッジにおいて光電子強度が高いことが分かった。つまり近接場の空間分布を可視化したことになる。また、時間分解計測を行ったところ、図 1(c)に示すようにいずれの構造においてもプラズモンが 10~20 fs 程度で緩和しているが、共鳴波長が長波長にある

ディスク構造の方が、振動の周波数が小さいことが明らかになった。つまり、プラズモンとレーザーの干渉を観測することに成功したと言える。

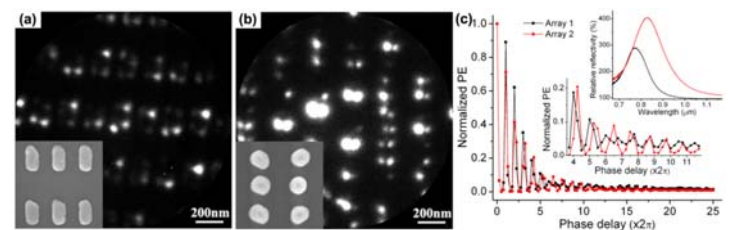


図 1 (a) 金ナノロッドの光電子顕微鏡像、(b) 金ナノディスクの光電子顕微鏡像、(c) 遅延時間に対する放出された光電子の強度 (黒: 金ナノロッド、赤: 金ナノディスク)

**＊その他・特記事項 (Others) :**

今後の課題: ナノギャップやチェーン構造、あるいは通常の光では誘起することができないダークモードプラズモンの近接場空間分布の追跡や位相緩和過程を追跡する予定である。

**共同研究者等 (Coauthor) :**

(北大電子研) 上野貢生, 三澤弘明, Yu Han, 松尾保孝

**論文・学会発表 (Publication/Presentation) :**

- [1] Q. Sun, H. Yu, K. Ueno, A. Kubo, Y. Matsuo, H. Misawa, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会、27p-A1-3、神奈川工科大学、3 月 (2013).
- [2] 于 瀚・孫 泉、上野貢生、久保 敦、松尾保孝、三澤弘明、2012 年光化学討論会、3P093、9 月 (2012).

**関連特許 (Patent) :**

なし