

課題番号 : F-15-HK-0055  
利用形態 : 共同研究  
利用課題名(日本語) : 四重極子プラズモンの位相緩和ダイナミクス  
Program Title(English) : Ultrafast dynamics of quadrupole plasmon resonance  
利用者名(日本語) : 久保 敦  
Username(English) : Atsushi Kubo  
所属名(日本語) : 筑波大学数理物質系  
Affiliation(English) : Faculty of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba

## 1. 概要(Summary)

本研究では、超短パルスフェムト秒レーザーと光電子顕微鏡を組み合わせ、金ナノ微粒子表面に誘起される四重極子表面プラズモン共鳴の位相緩和ダイナミクスを観測することに成功した。四重極子プラズモンの位相緩和時間が双極子共鳴に比べて長いことが明らかになった。金ナノ微粒子は、太陽電池や水を分解して水素を得る人工光合成系の光アンテナとして用いられる研究が進められており、これらのシステムの開発に有用な指針を与えるものと期待される。

## 2. 実験(Experimental)

### 【利用した主な装置】

超高精度電子ビーム描画装置 (エリオニクス、ELS-700HM)、ヘリコンスパッタリング装置 (アルバック、MPS-4000C1/HC1)、電解放出走査型電子顕微鏡 (日本電子、JSM-6700FT)、時間分解光電子顕微鏡 (TR-PEEM)

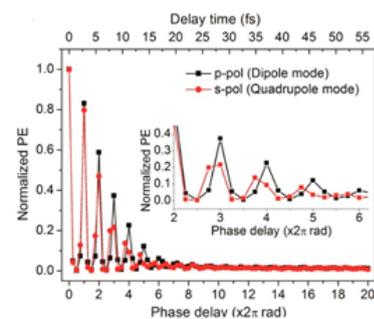
### 【実験方法】

単結晶酸化チタン基板 (0.05 wt%Nb-doped) 上に電子ビーム露光用レジストを成膜し、電子ビーム描画装置により 200 nm 四方の四角形型のパターンをアレイ状に描画した。現像後金をスパッタリング装置により 30 nm 成膜し、リフトオフにより金ナノ構造体アレイを作製した。作製した構造体基板を光電子顕微鏡にセットし、入射角度  $74^\circ$  でフェムト秒レーザービームをサンプル基板上に入射した。なお、入射光の偏光を偏光板により制御した。

## 3. 結果と考察(Results and Discussion)

本研究では、金ナノ微粒子表面に引き起こされる双極子と四重極子プラズモンの位相緩和時間を観測することに成功した。四重極子は、金属ナノ微粒子に対して近接場プローブ顕微鏡の探針を近接させたり、金属ナノ構造に対して光を斜めから入射して電荷の偏りを増大させた

りすることにより選択的に引き起こされる(ただし、S 偏光照射)。なお、本研究では、四重極子だけではなくP 偏光照射により双極子共鳴モードも誘起し、位相緩和時間の違いを時間分解光電子顕微鏡により追跡した。実際に、プラズモンの位相緩和時間が双極子の場合は 5 フェムト秒、四重極子の場合は 9 フェムト秒と位相緩和時間が異なること(Fig. 1)、四重極子を選択的に誘起すれば、より高い光閉じ込め効率を示すことを明らかにした。



**Fig. 1** The photoemission intensity of both dipole and quadrupole plasmon resonance modes as function of the delay time between the pump and probe laser pulses. These results indicate that dipole and quadrupole plasmon resonance exists with different dephasing times.

## 4. その他・特記事項(Others)

### ・参考文献

[1] A. Kubo et al., *Light: Science & Applications*, **2**, e118 (2013).

・共同研究者:(北大電子研)孫 泉・Han Yu・上野貢生・松尾保孝・三澤弘明

## 5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

### 論文発表

(1) A. Kubo et al., *ACS Nano*, **10**, 3835-3842 (2016).

### 学会発表

(1) A. Kubo et al., 27th International Conference on Photochemistry (ICP2015), Jeju, Korea, Jun. 2015.

他 8 件

## 6. 関連特許(Patent)

なし