

ポリマー薄膜/金属ナノ微粒子複合体における線形光学応答

(静岡大院・工) ○平林拓磨, 小野篤史, 川田善正, 杉田篤史

Linear optical properties of polymer thin film/metal nanoparticle complex systems

(Shizuoka Univ. , Department of Material Science) Takuma Hirabayashi , Atsushi Ono ,
Yoshimasa Kawata , Atsushi Sugita

【序】

近年表面プラズモン及びその応用技術が大きな注目を集めている。この微小な光源を利用したナノフォトニクスは次世代の計測、物質改質、高密度・高速光情報通信システムを構築する基盤技術として活発に研究が行われている。表面プラズモンとは金属中の自由電子が光と相互作用することにより集団振動する現象であり、その発生に伴いナノメートル空間に局在した光電場を発生することが知られている。表面プラズモンの共鳴条件はそれを取り囲む物質の誘電率に敏感に依存し、この原理を利用したセンサーへの応用がされている。従って表面プラズモンを微小光源として利用する際、その周囲の誘電体の誘電率に対する応答を正確に理解することは必要不可欠である。本研究ではこの課題について検討するために高分子薄膜を積層した金属微粒子近傍における表面プラズモン共鳴条件について検討した。

【実験】

本研究では表面プラズモン励起のための直方体型金属ナノ構造体は電子線リソグラフィを利用したリフトオフ法により作製した。金ナノ構造体の形状は幅 W 、奥行き D 、厚さ T の3つの寸法によって指定することが出来る。ここでは T を 50 nm、 W を 100 nm に固定し、 D を 100 nm から 200 nm の範囲で変えることによりアスペクト比を調整し、プラズモン共鳴波長の制御を行った。金ナノ構造体は $150 \times 150 \mu\text{m}$ の空間領域で 200 nm 間隔で正方格子状に配列させた。金属ナノ構造体表面には高分子薄膜としてポリメチルメタクリレート (PMMA) をスピコート法により積層した。高分子薄膜の膜厚は 20 nm から 100 nm の間で調整した。作製した試料の共鳴条件は反射測定法により評価を行った。光学系ではビーム径を $50 \mu\text{m}$ 程度に絞ることで各区画を選択的に励起させることが可能である。また時間領域差分法 (FDTD) によるシミュレーションを実施し、実験結果との比較を行った。

【結果と考察】

アスペクト比 (D/W) 1.4 の金ナノ構造体での反射スペクトルと PMMA を 30 nm 積層した系での反射スペクトルを図 2 に示す。スペクトル測定はプローブ光の電場の振動方向が金属ナノ構造体の長軸及び短軸に平行な配置で実施した。短軸及び長軸に平行な光電場で励起した場合ともにポリマーを積層すると、スペクトルのピークが長波長へとシフトした。続いて様々なアスペクト比の金属ナノ構造体を含む系を用意して同様の測定を実施した。図 3 に金属ナノ構造体のアスペクト比と反射ピーク波長の関係を示す。短軸及び長軸方向共に誘電率が空気よりも大きな高分子を

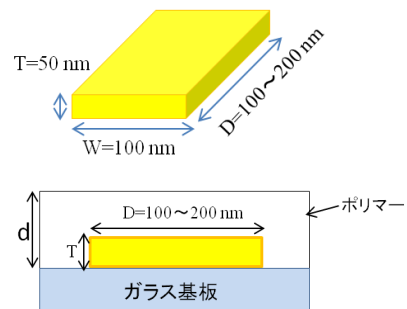


図 1: 本研究で用意した金属ナノ構造体/ポリマー複合系の概要

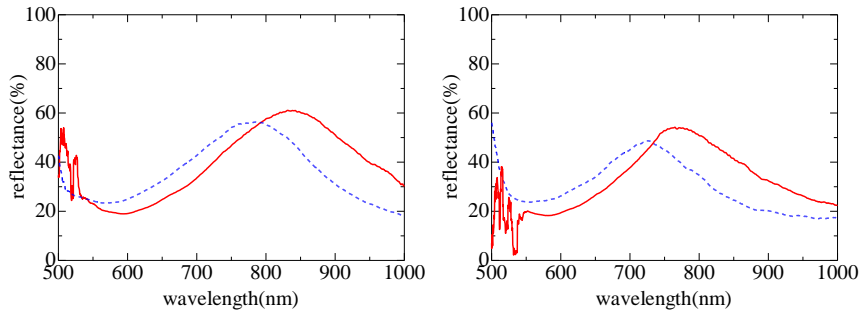


図 2:金属ナノ構造体/高分子薄膜複合系の反射スペクトル

左図及び右図はそれぞれ金属ナノ構造体の短軸および長軸方向に平行な光電場で励起した際のスペクトルである。実線及び破線はポリマーを積層した系と積層していない系に関する結果を示す。高分子薄膜は 30 nm である。

金属ナノ構造体上に積層すると、ピーク波長は長波長側へとシフトする。またアスペクト比が大きくなるのに従い反射ピーク波長も長波長側へとシフトする。この結果は FDTD 法によるシミュレーションでも確認された。

続いて高分子薄膜の膜厚に対する共鳴条件の依存性について検討するために、様々な膜厚の高分子膜を積層した系について検討した。アスペクト比 1.4 の金ナノ構造体を長軸側に平行な光電場で励起させた場合においてポリマーの膜厚を増加させた系についての反射スペクトルを測定した(図 4)。またピーク波長の高分子膜厚に対する依存性も調査した(図 5)。高分子薄膜が 100 nm 以下の領域では、ピーク波長は高分子薄膜が厚くなるに従い単調に長波長側へとシフトしていく。100 nm より膜厚が厚くなるとピーク波長はほぼ一定となった。この結果は表面プラズモンによる増強光電場の及ぶ空間範囲が 100 nm 程度であることを示すものである。

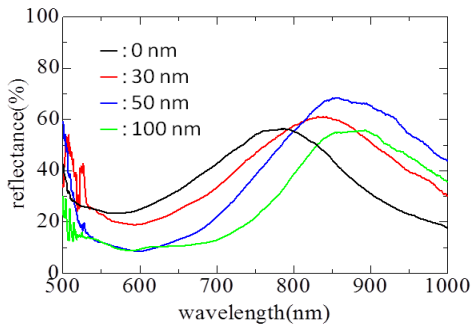


図 4:金属ナノ構造体/高分子薄膜複合系における反射スペクトルの高分子膜厚に対する依存性。光電場の振動方向が金属ナノ構造体の長軸と平行である場合のデータを示す。

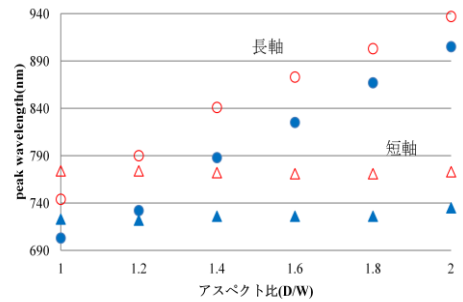


図 3:金属ナノ構造体/高分子薄膜複合系における反射ピーク波長のアスペクト比に対する依存性。青、赤はそれぞれポリマーを積層しない系及び積層した系に関する結果を示す。また丸と三角はそれぞれ金属ナノ構造体の短軸および長軸方向に平行な光電場で励起した場合である。

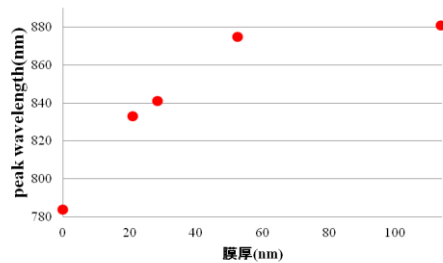


図 5:金属ナノ構造体/高分子薄膜複合系における反射スペクトルピーク波長の高分子薄膜に対する依存性。