

応力センシングのための表面プラズモン励起の歪み場制御

Strain-field control of plasmon resonances for stress sensing

東大工¹ 松井 裕章¹, 田畑 仁¹The Univ. of Tokyo¹, Hiroaki Matsui¹ and Hitoshi Tabata¹

E-mail: hiroaki@ee.t.u-tokyo.ac.jp

近年、社会的インフラの安心・維持管理に向けて、目視できない疲労やき裂等の応力集中の可視化やセンシング機能は重要な課題である。中でも、試料表面に発生する応力場を、高い空間的・時間分解能を有した幅広い計測視野を持つ応力センシング技術の開拓が要求される。本研究では、表面プラズモン励起の応力場制御に着目する。試料内に印加されるマクロ的な機械的応力を、ナノ粒子の構造配列の局所的な歪みに伴う表面プラズモン共鳴の光学応答変化から明らかにする。更に、酸化物半導体ナノ粒子の適用は、周囲環境（昼夜間）に依存しない近赤外表面プラズモン励起を与える。故に、ナノ粒子間界面で生じる近赤外プラズモン共鳴を用いた応力・ひずみ情報を検出可能なマルチスケールな構造物診断が可能な光計測の開発を目指す。本講演は、ナノ粒子薄膜試料の引張り歪みに対するプラズモン共鳴の光学応答と機械的応力との相関を報告する。

測定試料は、プラズマ処理した親水化した PDMS シート上に ITO ナノ粒子薄膜（20nm 直径）をスピンコーティング及び熱処理によって作製した。分光計測は、引張り軸を装備した近・中赤外顕微分光を用いて実施した。また、機械的特性（応力と歪みの相関）は、一軸引張り試験機（実験的考察）と有限要素（FEM：理論的考察）法による応力計算から得た。更に、引張り応力に対する光学応答の変化は、有限時間領域差分（FDTD）法を用いて考察した。

ITO ナノ粒子薄膜への引張り歪みは、急激な反射率の低下を誘起した[図 1(a)]。この光学応答に関する変化は、試料内に発生した応力に関係することが、機械的特性（応力・歪み曲線）から見出された[図 1(b)]。更に、試料への歪み印加は、共鳴反射ピークにも同時に影響を与えた。図 1(c)に、共鳴反射ピーク位置と歪みとの関係を示す。歪み（応力）の増加と共に、共鳴反射ピークが徐々にブルーシフトを与えた。FDTD 計算から、ナノ粒子間の距離が増大した場合、反射率の低下と共鳴波長のブルーシフトが同様に得られた。故に、引張り試験に対する光学応答の変化は、ナノ粒子間距離に起因するプラズモン共鳴励起が関与する。また、引張り歪みを繰り返し印加した場合、可逆的な光学応答が観測された。つまり、ナノ粒子薄膜は PDMS シートに追随して、ナノ粒子間距離の動的変化とプラズモン共鳴を歪量に応じて変化したこと示唆する。本結果から、ITO ナノ粒子薄膜は試料に発生する歪みや応力を検出する機能を有し、高いフレキシブル性を持つことが実証された。本手法は、ITO ナノ粒子の局所光学変調に基づいた応力センシングを可能にし、高い空間的分解能を有する応力センシングや IoT モニタリング応用貢献する。

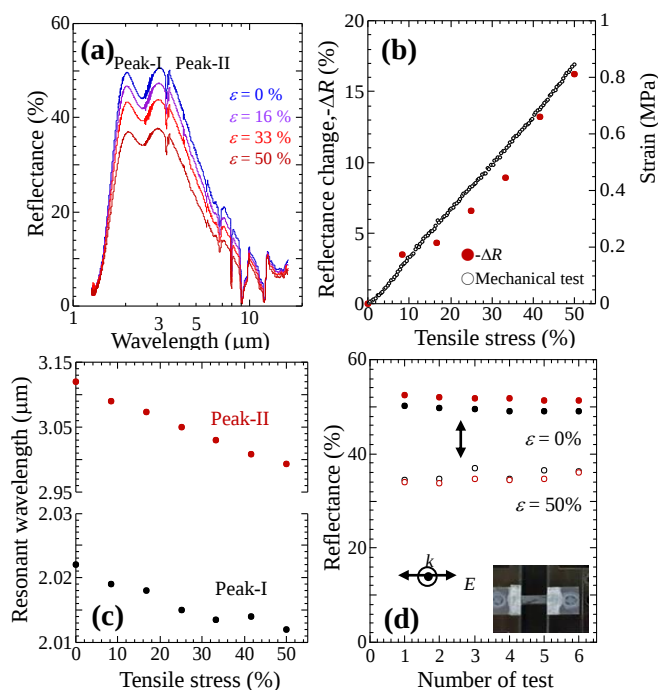


図 1. (a) 反射率の引張り歪み依存性。(b) 反射率と引張り応力との相関関係。(c) 共鳴反射ピークの歪み依存性。(d) 引張り応力の繰り返し試験と反射率の相関。