表面プラズモン励起の歪み場制御による応力検出の実証

Stress detections using strain-field control of surface plasmon resonances

東大工 [1] °松井 裕章 [1], 田畑 仁

Univ. of Tokyo [1], °Hiroaki Matsui [1] and Hitoshi Tabata [2]

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

近年、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、非接触な構造物診断に向けて重要である。特に、試料表面に発生する応力場を、幅広い時空間的な計測視野を有する応力センシング技術の開発が要求される。前回の発表において、超弾性体 PDMS フィルム上に堆積させた ITO ナノ粒子薄膜の引張応力（線形な応力・歪み曲線）下における反射率変化について議論した。本講演では、圧縮歪みに対して複雑な応力履歴を示す PDMS ディスクへの一軸圧縮印加時に対するナノ粒子薄膜の反射率変化を報告する。本研究における最終目標は、ナノ粒子間界面で生じる局所電場増強（プラズモン励起）を利用して、マルチスケールで応力・歪み情報を検出可能な新しい構造物診断技術を目指す。

図 1a に、FEM（有限要素）法を用いて理論計算されたミーゼス応力分布と歪みの相関を示す（y 方向に沿って圧縮）。小さい歪み領域（$\varepsilon_{yy} < 14\%$）では、円盤のエッジ部（edge region）に応力集中が生じ、圧縮歪みの増大（$\varepsilon_{yy} > 14\%$）と伴に、応力集中部位がエッジ部から中央部（center region）に移動する。図 1b に、エッジ部と中心部のそれぞれの応力・歪み曲線を示す。試料表面で発生する応力は、14%の歪み量を境にエッジ部と中心部のミーゼス応力の大きさが交差する結果として非線形的な応力・歪み曲線となる。本研究では、この様な複雑な応力・歪み変化をナノ粒子薄膜の反射率変化を用いて計測する（ミーゼス応力は最大主応力と最小主応力の総和と定義）。

測定試料は、プラズマ処理した親水化 PDMS ディスク（直径 1 mm、高さ 5 mm）上に ITO ナノ粒子薄膜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、圧縮軸を装備した近・中赤外分光顕微鏡を用いて実施した。機械的特性（応力・歪み曲線）は、一軸圧縮試験機を用いて評価・検証した。図 1c に、ナノ粒子薄膜からの反射率の変化と圧縮歪みの関係を示す。反射分光測定はエッジ部と中心部で実施した（点計測）。小さい歪み領域（$\varepsilon_{yy} < 13\%$）では、エッジ部の反射率変化が高く、歪み量の増大と伴に中心部の反射率変化が高くなった。ナノ粒子薄膜の反射率変化と歪みの関係は、機械的特性である応力・歪み曲線と類似した結果を与えた。それは、試料表面の応力強度の変化を、反射率変化によって計測できたことを意味する。更に、反射共鳴ピークは、圧縮歪みの増大と伴に長波長シフトを与え、ナノ粒子間界面のプラズモン共鳴が応力検知に重要な役割を果たす。

本研究は、旭硝子財団の支援の下に実施された。

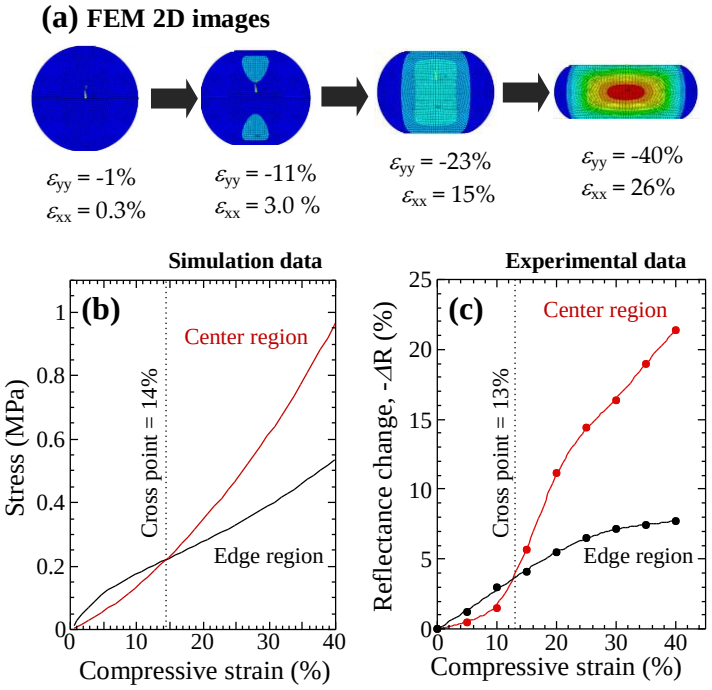

図 1. (a) 有限要素法(FEM)による円盤ディスク形状への圧縮歪みと応力分布像。(b) 円盤ディスクにおける応力・歪み曲線。(c) ナノ粒子薄膜の反射率変化(-Δ*R*)の歪み依存性。