原子間力顕微鏡によるナノスケール表面下構造イメージング

Nanoscale subsurface imaging based on atomic force microscopy

京大院工 戸野 博史,木村 邦子,小林 圭,[○]山田 啓文 Department of Electronic Science & Engineering, Kyoto University H. Tono, K. Kimura, K. Kobayashi, [°]H. Yamada E-mail: h-yamada@kuee.kyoto-u.ac.jp

近年、集積回路におけるナノ欠陥分析や細胞内診断など、材料・デバイス解析やバイオ・医療分野においては、ナノ空間分解能をもつ非破壊・非侵襲の内部診断法の開発が強く求められている。一方、2005年のShekhawatらの走査型近接場超音波ホログラフィ法(SNFUH)による表面下可視化に関する先駆的研究以降[1]、表面下100 nmを越える領域にあるナノ構造を、原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscopy: AFM)を利用して可視化する手法に関心が集まり、現在も精力的に研究が進められている。これまでに構造物の微小内部欠陥の検出例や生体細胞内の観察例などの表面下構造可視化が報告されている。しかしながら、その可視化メカニズムについては依然不明の点が多い。

本講演では、AFMをベースとする新規の表面下可視化法である走査型熱振動顕微鏡法(Scanning Thermal Noise Microscopy: STNM)に焦点を当てるとともに[2]、この手法によって得られた、高分子膜内に埋め込まれたナノ粒子の可視化結果について報告する。AFMのカンチレバーは、力学的には理想的な調和振動子として動作するが、外的な駆動力がない状態においても熱雑音によって振動している(ブラウン振動)。探針が試料に接触した状態では、カンチレバーの共振周波数は、接触部の試料表面の粘弾性を反映するため、カンチレバーの熱振動スペクトルから表面弾性係数等を求めることが可能となるが、これまでの研究によって、表面下構造と表面の接触弾性には強い相関があることが判明している[3]。実際、表面下に硬い/柔らかいナノ構造が埋め込まれている場合、表面弾性係数は局所的に大きく/小さくなり(熱振動の接触共振周波数は高く/低くなる)、従って、Fig 1に示すように、熱振動スペクトルの表面マッピングによって表面下のナノ構造を力学的に可視化することが可能となる(STNM法)。実験では、ポリイミド基板上に、金 (Au) およびポリスチレン (PS) ナノ粒子(各々の直径:40 nmおよび50 nm)を散布し、これを膜厚300 nmの高分子(フォトポリマー)の膜で覆い、テスト試料として使用した(Fig. 2(a) inset)。試料の各点で接触共振周波数を測定しマッピングすることで、2種のナノ粒子を可視化し、同定することに成功した(Fig. 2(b))。

- [1] G. S. Shekhawat and V. P. Dravid: Science 310, 89 (2005).
- [2] A. Yao, K. Kobayashi, S. Nosaka, K. Kimura and H. Yamada: Scientific Reports 7 42718 (2017).
- [3] K. Kimura, K. Kobayashi, A. Yao and H. Yamada: Nanotechnology 27, 415707 (2016).

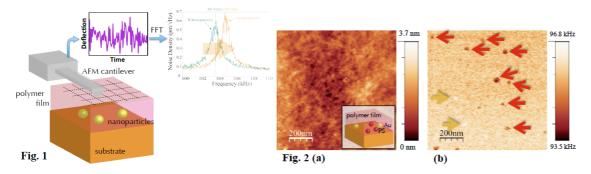


Fig.1: Schematic of STNM

Fig.2: (a) AFM and (b) STNM images of Au and PS nanoparticles (indicated by gold and dark red arrows, respectively) in a polymer film (located 300 nm below the polymer surface).