

## 架橋 PMMA ナノワイヤーコイルばねの 2 光子加工作製と力学特性 Mechanical properties of cross-linked PMMA Nano coil springs fabricated by 2-photon lithography

阪大院工<sup>1</sup> ○庄司 暁<sup>1</sup>, 牛場 翔太<sup>1</sup>, 増井 恭子<sup>1</sup>, 田口 夏生<sup>1</sup>, 河田 聡<sup>1</sup>  
Osaka Univ.<sup>1</sup> ○Satoru Shoji<sup>1</sup>, Shota Ushiba<sup>1</sup>, Kyoko Masui<sup>1</sup>, Natsuo Taguchi<sup>1</sup>, Satoshi Kawata<sup>1</sup>

E-mail: shoji@ap.eng.osaka-u.ac.jp

架橋ポリメチルメタクリレート (PMMA) を材料として、半径 100nm~500nm の細線が直径 4 $\mu$ m の螺旋を描くコイルばねを 2 光子光重合により作製した。メチルメタクリレート (MMA) にクロスリンカー、重合開始剤を含む光重合樹脂を調合し、高 NA 対物レンズで集光した Ti:Sapphire レーザーのパルス光を照射して 2 光子吸収による重合反応を誘起し、ピエゾステージコントロールによる集光スポットの 3 次元走査によって、コイルばねを作製した。レーザー操作後、エタノールによって未反応のモノマーを除去した後、超臨界二酸化炭素を用いた現像処理によって、構造の破壊やスティッキングなく、スプリング構造を液中から空气中に乾燥させて取り出すことに成功した。図 1 に作製した 150nm 細線コイルばねの電子顕微鏡像の例を示す。作製したコイルばねの力学特性を、原子間力顕微鏡を用いて測定した。タッピングモード用カンチレバーにコイルばね先端を接触させ、コイルばねに一軸圧力を印加し、その過程で得られるフォースカーブからばね定数を算出した。細線の半径が異なるばねについて、それぞれのバネ定数を測定した。図 1 のコイルばねの場合、約 50 $\mu$ N/m であった。さらに、ばねの構造パラメーターとばね定数の関係式から、架橋 PMMA 自身の弾性係数を評価した。その結果、架橋 PMMA の弾性係数が、細線の直径の減少とともに増強されることを見いだした。同様の結果は、これまでエタノール中での実験ですで見られたが[1-3]、今回、空气中に乾燥して取り出したポリマーコイルばねからも同様の結果が得られたことから、このようなポリマーの弾性係数の変化は周囲の溶媒の効果によるものではないと考えられる。可能性のある要因としては、サイズの減少によるポリマー鎖の自己配向、または、ポリマー鎖のマイクロブラウン運動の自由度の低下が原因である可能性を考えている。また、いずれの細線においても、バルク状態で測定した全く同じ素材のポリマーの弾性係数 (せん断弾性係数: 0.29GPa) に比べて数倍高い値を示していた。およそ 400nm よりも半径が小さくなると、せん断弾性係数は 4 倍以上の値 (1.2GPa 以上) を示した。このことは、ナノデバイスの母材としてのポリマーの有効性を示唆している。

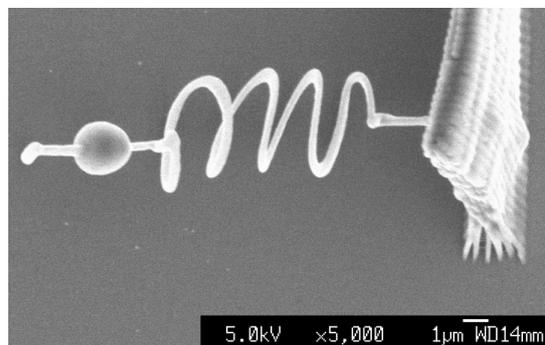


図 1 コイルばねの電子顕微鏡写真。ポリマーワイヤーの半径は 150nm。

超臨界二酸化炭素を用いたナノスプリング乾燥法の検討で多くのご協力をいただいた株式会社レグザムおよび三宅幸一氏に深謝する。本研究は、一般財団法人キヤノン財団および科研費 (挑戦的萌芽研究) の援助により行われた。

1. S. Shoji, T. Hamano, S. Nakanishi, and S. Kawata, MRS Proc. **1224**, FF06-05-DD06-05 (2009).
2. S. Nakanishi, S. Shoji, H. Yoshikawa, Z. Sekkat, and S. Kawata, J. Phys. Chem. B **112**, 3586-3589(2008).
3. S. Nakanishi, S. Shoji, S. Kawata, and H.-B. Sun, Appl. Phys. Lett., **91**, 063112(2007).