

## NEMS 材料の信頼性向上を目指して

兵庫県立大学大学院工学研究科  
機械系工学専攻 博士後期課程 1 年  
藤井達也

近年、急速に発達した微細加工技術によりナノサイズの機械構造体を有するナノ電気機械システム (NEMS) の研究開発が進み、情報・通信から生体分野まで幅広い応用が期待されています。電気信号の授受のみで仕事を行う半導体デバイスとは異なり、NEMS の最大の特徴は機械的に動作する可動部の動きをもとに仕事を行うことです。将来の実用化を視野に入れ、性能・信頼性に優れた NEMS を作製するためには、構成材料の物理特性を十分把握した上で最適な設計を行う必要があります。すなわち、NEMS 構成材料の使用寸法下での材料特性を実験的に十分調べ、得られた知見をデバイス構造設計ならびにプロセス設計の双方に如何に反映させるかが重要です。

微小材料の電気特性は計測対象がマイクロサイズ以下でも比較の実測が容易です。例えば、Cu や Al 合金などの配線材料のエレクトロマイグレーション特性はこれまでに数多く調べられ、素材改良により最近ではマイグレーションレスな合金配線材料が主流になっています。一方、微小材料の機械特性は電気特性に比べて実測が非常に困難です。微小材料を対象とした機械特性評価法としては、引張試験、曲げ試験、ナノインデンテーション試験、パルジ試験などが挙げられます。中でも引張試験は試験片全体に均一に応力が分布することから、機械特性の定量把握に適しています。私の所属する研究室では、独自開発した一軸引張試験機や二軸引張試験機を用いて単結晶 Si、DLC 膜、TiN 硬質膜、TiNi 形状記憶合金薄膜などの機械特性の実測に成功しています。これら材料試験の大半はマイクロサイズもしくはサブミリサイズの寸法下で実施されていますが、試験片がナノサイズになると機械特性の定量計測例は世界的にも少なくなります。理由は、試験片サイズの微小化に伴い、応力-歪み関係の導出に必要な試験片の荷重と変位が極めて小さくなり、その実測が技術的に困難になるためです。また、試験片軸方向と試験機荷方向とを一致させるための高精度な位置決め技術が必要となることも、ナノ材料の機械物性計測をより難しくしています。ナノ構造体に対して力学特性を正しく実測するための新規材料評価技術の開発が急務の課題となっています。

私は、上述の「微小材料」を対象とするが故に生じる技術的課題を解決すべく、様々なナノ構造体に適用可能な、新たなナノ引張試験技術を独自に考案・確立することを目的としてこれまで研究開発を進めてきました。この技術は、半導体加工技術を用いて作製したナノ引張試験デバイスと、集束イオンビーム (FIB) 加工技術とを融合したものです。図 1 に示す MEMS 引張試験デバイスは、櫛歯型の静電アクチュエータと静電容量センサから構成され、ナノ試験片に一軸引張負荷を付与でき、かつ、試験片の伸びと試験片に荷重された荷

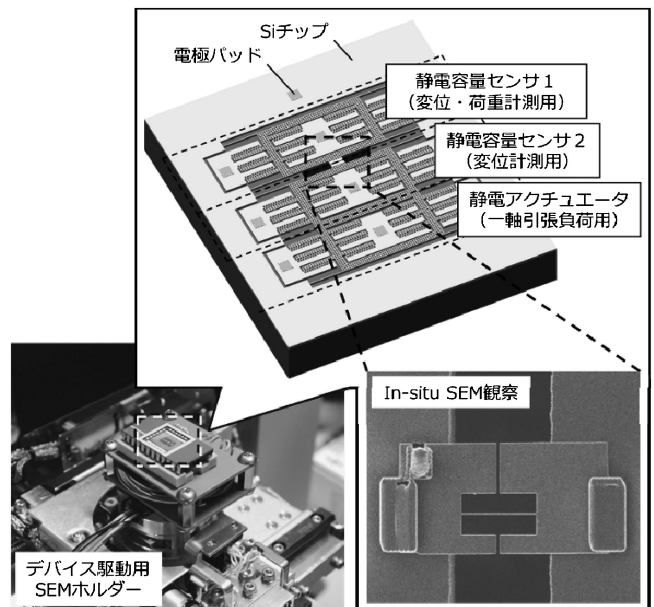


図 1 MEMS 引張試験デバイス。

重とを実測できます。本研究では、単結晶 Si ナノワイヤをデバイス設計の基準材料とし、荷重と変位の計測分解能を 15 nN, 1 nm としました。また、FIB 装置のプローブマニピュレーション機能と薄膜デポジション機能を用いてナノ試験片を作製する技術を確立しました。これらの技術の融合により、FIB 加工した単結晶 Si ナノワイヤ (最小幅 57 nm) の一軸引張試験を実施し、ヤング率および破壊強度の定量計測に成功するとともに、FIB 加工に基づく表面ダメージの影響も定量評価しました<sup>(1)</sup>。現在、同一の表面・構造 (ここでは完全表面・完全結晶と呼ぶ) を持つ単結晶 Si ナノワイヤを様々な寸法で作製して引張評価し、加工によるプロセス (表面処理) 効果を含まない機械特性の純粋なサイズ効果を完全解明する研究に取り組んでいます。この研究で、連続体概念が適用できる限界寸法 (= 量子効果が現れる寸法) を実験的に特定することが現在の研究目標です。

これまでの研究では成果が出ないことへの不安や焦りに加え、最先端技術を用いた研究ゆえの孤独感のような感覚を得る機会が数多くありました。その一方で、自力で壁を乗り越えた時の達成感や喜びは相当大きく、それは何事にも代えられないものと感じることもできました。私は、研究に真摯に取り組む、小さな失敗と成功を繰り返していく中で自分自身を大きく成長させることができると理解しています。私が入り組んできたナノ材料の機械特性評価技術は、半導体デバイスや NEMS の性能・信頼性向上という半導体産業が抱える不変の課題のいくつかを解決できると自負しています。今、世界が注目しているナノ材料関連の研究テーマに着手できたことに感謝するとともに、その機械電気特性を誰よりも早く、正確に計測して未知のナノ物性を世界に先駆けて発見したいです。研究活動を通じて幅広い知識を習得し、一課題に対して様々な角度から解決できる研究者になることが、私の目標です。

最後に、研究を遂行するにあたり研究テーマの設定から終始一貫してご指導を賜っております生津資大准教授、今回「はばたく」への寄稿の機会を与えていただいた関係各位、お互い切磋琢磨しながら研究生活を過ごしております研究室の学生に深く感謝いたします。

### 文 献

- (1) T. Fujii, T. Namazu, K. Sudoh, S. Sakakihara and S. Inoue: J. Eng. Mater. Technol., 135 (2013), 041002.  
(2014年 1 月 23 日受理) [doi:10.2320/materia.53.170]  
(連絡先: 〒671-2201 姫路市書写 2167)