

高い秩序度を有する金属ナノマテリアルの創製と展開

Formation of Metallic Nanomaterials by Controlled Atomic Accumulation and Their Characterizations

坂 真澄 (Masumi Saka)
東北大学・大学院工学研究科・教授



研究の概要

本研究は、原子拡散と再配列の現象を論理的に取り扱い、これを制御する科学基盤を確立し、これまでに実現されていない秩序度の高い金属ナノマテリアルの創製を実現すると共に、その物理的特性を正確に把握することで創製したナノマテリアルの展開・応用を図るものである。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：金属ナノマテリアル、原子拡散、原子集約、原子再配列、高い秩序度

1. 研究開始当初の背景

ナノマテリアルの作製は、原子や分子等を目的とする作製物へと配列するボトムアップ手法に依るところが主流であるが、その多くは素材の化学的特性に依存し、偶発的な要素のある化学的手法では組成の安定性に加えてその生成位置や直径、長さ、真直度等の幾何学的様態の制御が必ずしも容易ではない。また、生成効率に難のある場合もある。さらに、ナノマテリアルの利用・応用に際しては、材料の十分な物理的特性評価に加えて、実際に材料を組み立てる技術が必須であるが、ナノマテリアルを活用するための基盤技術は世界的に未だ不足している状況にある。

2. 研究の目的

本研究は、原子拡散と再配列の現象を論理的に取り扱い、これを制御する科学基盤を確立し、これまでに実現されていない秩序度の高い金属ナノマテリアルの創製を実現すると共に、その物理的特性を正確に把握することで創製したナノマテリアルの展開・応用を図るものである。高密度電子流を駆動力として、原子を拡散させ、拡散した原子を意図した特定箇所にも局所的に集約して高い圧縮応力を発生させ、圧縮応力を急激に解放することに伴って原子を排出して再配列させるという独自の発想に基づく原子制御の科学基盤を構築する。

3. 研究の方法

世界で初めて実現したエレクトロマイグ

レーションによるナノ材料創製の数値シミュレーション手法を駆使して、ナノ材料を創製するための試験片を設計・作製し、本研究費で購入したデジタルマイクロスコップ、走査電子顕微鏡、およびマイクロプローバ等を駆使してナノ材料の創製実験を行っている。また、ナノロボティクスマニピュレータにより、創製したナノ材料を高精度に操作して、ナノ材料の機械的・電氣的・磁氣的特性を独自の手法により定量的に評価すると共に、応用に向けてナノ材料同士の接合を実現した。

4. これまでの成果

(1)原子拡散と再配列制御の理論的考察 拡散の振動数項、温度、活性化エネルギー、保護膜の物性と寸法等のナノ材料創製のための最適条件を理論的に抽出すべく、エレクトロマイグレーションによる原子流束発散に着目したナノストラクチャー創製の数値シミュレーション手法を世界に先駆けて構築した。ナノワイヤ創製のための支配因子を明らかにすると共に、高効率なナノストラクチャー創製のための試験片形状等を見出した。

(2)各種金属ナノマテリアルの創製 アノード端にスリットを入れたSiO₂被覆型のAl薄膜配線を作製して拡散させたAl原子を局所的に集約することで、高アスペクト比のAlナノワイヤを創製することに成功した。また、その場観察により当該ナノワイヤが連続的に成長することを確認した(ホームページにて公開)。これらの実験事実は、(1)に記載した数値シミュレーション結果の妥当性を裏付けるものである。さらに、アノード端の温度

を変化させて微小孔より Al 原子を制御して排出することで、ナノワイヤ、微小ボールを高い秩序度で選択的に作製できることを世界に先駆けて見出している。

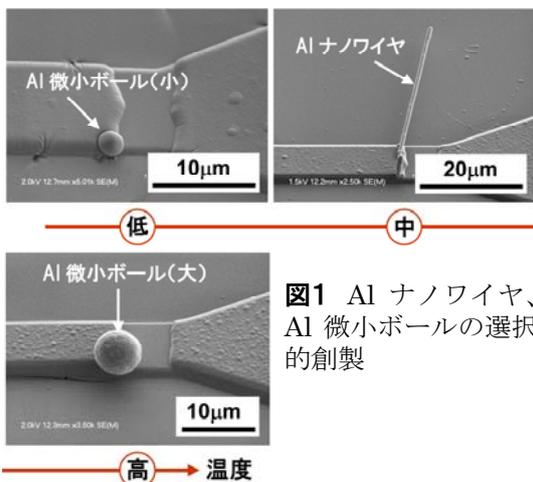


図1 Al ナノワイヤ、Al 微小ボールの選択的創製

(3)機械的・電氣的・磁氣的特性評価 機械的特性評価に関して、100nN 分解能の極微小力センサを試作すると共に、負荷実験により得たナノワイヤの変形挙動を数値解析により再現することで、同ワイヤの弾塑性特性を評価することに成功した。また、光学顕微鏡下で行えるナノワイヤの機械的特性試験法を開発し、直径 100nm 以下の CuO ナノワイヤの縦弾性係数と強度の直径依存性を明らかにしている。電氣的特性評価では 4 探針型原子間力顕微鏡法、渦電流顕微鏡法、およびナノ構造 GaAs マイクロ波プローブを用いるマイクロ波原子間力顕微鏡法を開発した。また、通電下にある金属マイクロコイルと永久磁石との電磁氣的相互作用による、コイルの磁氣的特性評価にも成功した。

(4)ナノマテリアルの展開・応用 ジュール熱を利用した金属ナノワイヤの接合、切断手法を世界に先駆けて提案した。金属ナノワイヤの接触部における溶融現象を走査電子顕微鏡で捉えることに成功すると共に、同現象を支配するパラメータの特定に成功した。これまでに、本接合手法を利用した上で Pt ナノワイヤに局所的な塑性変形を誘起し、電極チップ上に片持ち支持したマイクロリング構造を実現することで、ナノワイヤにアクチュエーション機能を付与することに成功している。

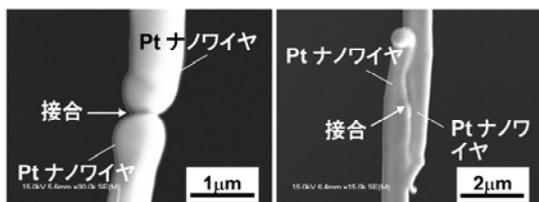


図2 直線 (左) および重ね (右) 接合

5. 今後の計画

予定している金属ナノチューブを利用した流体センサ、および微小力センサを実現する。さらに、産業化に向け、各種金属ナノマテリアルの量産技術の開発に力を入れる。具体的に、これまで基本として配線形状の試験体を扱ってきたが、量産化のためこれを 2次元に拡張した円板状試験体等を導入してナノマテリアルを多数生成する。さらに、開発した各種ナノ材料特性評価手法を高度化し、ナノサイエンス分野における重要ツールとしての確立を目指す。

6. これまでの発表論文等

(研究代表者は太字、研究分担者は二重下線、連携研究者は一重下線)

- (1) **K. Sasagawa**, A. Kirita, S. Fukushi, **M. Saka**, Simulation of nanostructure production by electromigration considering specimen's shape, J. Nanosci. Nanotechnol., 査読有, 9 (2009), 印刷中.
- (2) **H. Tohmyoh**, A governing parameter for the melting phenomenon at nanocontacts by Joule heating and its application to joining together two thin metallic wires, J. Appl. Phys., 査読有, 105 (2009), pp.014907-1-014907-9.
- (3) **M. Saka**, K. Kato, **H. Tohmyoh**, Y. Sun, Controlling electromigration to selectively form thin metal wires and metal microspheres, J. Mater. Res., 査読有, 23 (2008), pp.3122-3128.
- (4) **M. Muraoka**, N. Settsu, **M. Saka**, Residual-strain-induced nanocoils of metallic nanowires, J. Nanosci. Nanotechnol., 査読有, 8 (2008), pp.439-442.
- (5) B.-F. Ju, **Y. Ju**, **M. Saka**, Quantitative measurement of submicrometre electrical conductivity, J. Phys. D: Appl. Phys., 査読有, 40 (2007), pp.7467-7470.
- (6) **M. Saka**, F. Yamaya, **H. Tohmyoh**, Rapid and mass growth of stress-induced nanowhiskers on the surfaces of evaporated polycrystalline Cu films, Scripta Mater., 査読有, 56 (2007), pp.1031-1034.

など他 19 件

産業財産権

- (1) **坂真澄**, 長谷川昌孝, 上田亮介, 原子の拡散を制御することによる金属ナノワイヤの製造方法およびこの方法により製造する金属ナノワイヤ, 第 4257429 号, 2009 年 2 月 13 日登録.

など他 4 件 (取得)、7 件 (出願)

ホームページ等

<http://king.mech.tohoku.ac.jp/saka/index.htm>